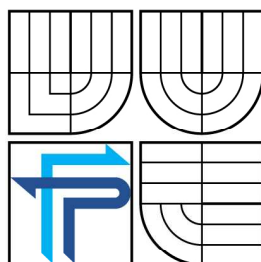


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV EKONOMIKY (ÚE)

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUT OF ECONOMICS

STATISTICKÁ REGULACE V ŘÍZENÍ JAKOSTI – KONTROLA ZPŮSOBILOSTI PROCESU A ZAŘÍZENÍ

STATISTICAL PROCESS CONTROL IN QUALITY MANAGEMENT - QUALITY CONTROL
OF PROCESS AND UTILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. FILIP VRTÍLEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. FRANTIŠEK BARTES, CSc.

BRNO 2007

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Filip Vrtílek

Bytem: Hlavní 134, 696 12 Hovorany

Narozen/a (datum a místo): 29.08.1978, BRNO-MĚSTO

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta podnikatelská

se sídlem Kolejní 2906/4, 612 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Alena Kocmanová, Ph.D., ředitelka Ústavu ekonomiky

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Statistická regulace v řízení jakosti - kontrola způsobilosti
procesu a zařízení

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Frantisek Bartes, CSc.

Ústav: Ústav ekonomiky (ÚE)

Datum obhajoby VŠKP: červen 2007

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☒ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt

Analýza stavu systému jakosti ve výrobě, v předvýrobní a výrobní etapě. Vyhodnocení současného stavu v předvýrobní a výrobní etapě. Přehled nejběžnějších použitelných metod řešení problému jakosti. Základní statistické metody a metody managementu jakosti. Základní pojmy matematické statistiky a metody SPC. Odhad číselných charakteristik a testování statistických hypotéz. Postup vytvoření regulační karty stroje a procesu. Program pro PC – SPC – Test

Klíčová slova: Systém jakosti ve výrobě, předvýrobní etapa, výrobní etapa, základní statistické metody, metody managementu jakosti, regulační karta stroje a procesu, program, SPC

Abstract

The analysis of the quality system in the production, in the preparatory and producing stage. The evaluation of modern phase in the preparatory and producing stage. Summary of methods of solution in a problem of quality. Basic statistical methods and methods of management of quality. Basic mathematical terms in statistics and SPC. Valuation of numerical characteristics and test of statistical hypotheses. Process of creating of machine and process card of regulations. Pc program SPC - TEST

Key words: Quality system of production, preparatory stage, producing stage, basic statistical methods, methods of quality management, machine and process card of regulation, program, SPC

VRTÍLEK, F. *Statistická regulace v řízení jakosti - kontrola způsobilosti procesu a zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2006. 82 s.
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. František Bartes, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

.....

V Brně dne 12.5.2007

Poděkování

Děkuji tímto Doc. Ing. Františku Bartesovi, CSc., Doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi CSc., Doc. RNDr. Zdeňku Karpíškovi CSc. a Ing. Jánů Mižovovi z firmy ZKL Brno, a.s. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD.....	12
1 ANALÝZA STAVU SYSTÉMU JAKOSTI VE VÝROBĚ	16
1.1 Předvýrobní etapa.....	17
1.1.1 Řízení projektů.....	17
1.1.2 Schvalování prvních vzorků	18
1.1.3 Uvolňování k sériové výrobě	19
1.2 Výrobní etapa.....	23
1.2.1 Řízení technické dokumentace	23
1.2.2 Kontrola a zkoušení	27
1.2.3 Neshodný produkt.....	30
1.2.4 Řešení problému jakosti metodou 8 - KP	31
1.3 Závěrečné hodnocení stávajícího stavu.....	33
2 PŘEHLED METOD ŘEŠENÍ PROBLÉMU JAKOSTI	35
2.1 Současný stav statistické regulace v řízení jakosti.....	35
2.1.1 Elementární statistické metody	36
2.2 Metody vedoucí ke zvyšování jakosti.....	39
2.3 Vybrané metody managementu jakosti	41
2.3.1 Metoda SPC	41
2.3.2 Metoda QFD	41
2.3.3 Hodnotová analýza	42
2.3.4 Přezkoumání návrhu (Design Review)	43
2.3.5 Metoda FMEA	43
2.3.6 Plánování experimentů	44
2.4 Výběr nejvhodnější metody	45
3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA METODY SPC	46
3.1 Základní pojmy matematické statistiky	48
3.3 Odhad číselných charakteristik.....	54
3.4 Testování statistických hypotéz	57
3.5 Prostředky pro posouzení přesnosti výrobního zařízení a jeho nastavení	59
3.5.1 Index způsobilosti C_p	62
3.5.2 Index způsobilosti C_{pk}	65

3.5.3 Index správnosti nastavení výrobního zařízení U	67
3.5.4 Index způsobilosti C_{pm}	68
3.5.5 Porovnání jednotlivých indexů	69
3.5.6 Vztahy mezi indexy způsobilosti	71
3.5.7 Robustnost výrobního procesu	72
3.5.8 Testování indexů způsobilosti	74
4 OVĚŘOVÁNÍ ZPŮSOBILOSTI STROJE A PROCESU	76
4.1 Postup ověřování způsobilosti stroje	76
4.2 Zabezpečení způsobilosti procesu	77
4.2.1 Zabezpečení předběžné způsobilosti procesu	77
4.2.2 Zabezpečení trvalé způsobilosti procesu	78
4.2.3 Analýza statistické stability a normality dat	78
4.2.4 Regulace procesu	79
4.3 Práce s regulačními diagramy	80
4.3.1 Vyplnění záhlaví karty	80
4.3.2 Instalace dat do tabulky „Naměřené hodnoty“	81
4.3.3 Výpočet parametrů \bar{x}_a , s a R	81
4.3.4 Provedeme výpočet hodnot ve sloupci „Hodnoty intervalů“	81
4.3.5 Provedeme výpočet Gausovy křivky	82
4.3.6 Provedeme hodnocení statistické stability stroje	84
4.3.7 Výpočet koeficientu způsobilosti stroje c_m a c_{mk}	86
4.3.8 Závěrečné vyhodnocení	86
4.4 Návrh řešení problému	87
4.4.1 Blokové schéma	87
4.4.2 Návrh činnosti programů	88
5 ZÁVĚR	91
POUŽITÁ LITERATURA	92
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	94
SEZNAM PŘÍLOH	100

ÚVOD

Význam jakosti v posledních dvou desetiletích stoupl tak dramaticky, že je možno mluvit o „revoluci jakosti“. Ne všichni pracovníci (orgány státní správy nevyjímaje) jsou ale ochotni akceptovat tyto dramatické změny v nazírání na jakost, což zdůvodňují tím, že jde o módní jev, který je nutno v našich podnicích jednoduše přežít. (8). V roce 1989 průzkum ukázal, že 90% vrcholových manažerů považovalo jakost za kritickou otázku konkurenční schopnosti a 55% z nich hodnotilo jakost jako absolutně nejdůležitější faktor jimi řízených firem. Analýzy těchto studií jednoznačně prokázaly, že účinný management jakosti vede:

- ke zlepšování ekonomických výsledků
- k vyššímu zájmu o požadavky zákazníků
- k rozvoji podnikové kultury a vedení lidí
- k významným změnám v osobním rozvoji zaměstnanců

Po roce 1989 jsme zjistili, že výkonnost našich podniků ve srovnání s firmami vyspělých ekonomik je podstatně nižší. Bylo to způsobeno převážně tím, že ekonomiky našich podniků se nemusely po několik desetiletí pohybovat v náročném konkurenčním prostředí, otázka zabezpečování jakosti byla druhořadou záležitostí. To vedlo mnohdy k tomu, že některé podniky doslova degenerovaly ve svém úsilí pružně reagovat na potřebu trhu. (8)

Firmy s moderními systémy managementu jakosti skutečně dosahují dlouhodobě podstatně lepších výsledků, než firmy s tradiční orientací na zabezpečování jakosti prostřednictvím technické kontroly. Systém jakosti se totiž projevuje svými pozitivními účinky jak uvnitř podniku, tak i v jeho okolí. Interní účinky systému jakosti se obvykle projevují rychleji, než účinky externí; klesá podíl neshod na celkových výkonech, stoupá výtěžnost materiálu i účinnost vnitropodnikových procesů, protože se zvyšuje rozsah napoprvé správně provedené práce. To vše vede ke zvyšování produktivity a redukci nákladů.

Výzkumy prováděné v minulých letech uvnitř zemí Evropské unie (6) ukázaly, že 66% všech příčin ztrát na trhu padá na vrub nízké jakosti výrobků a služeb, přičemž podrobnější zkoumání prokázalo i zde rozhodující podíl nedostatků v předvýrobních etapách.

První náznaky zpracování informací z výrobního procesu za účelem jeho řízení byly již na začátku minulého století, které do podoby aplikovatelné na oblast řízení jakosti v dnešní podobě rozvinuli zejména K. Ishikawa a E. Deming na přelomu 40. a 50. let. Od roku 1987 jsou tyto výsledky i jejich činnosti součástí zavádění norem ISO řady 9000. Jedním z rozhodujících požadavků na budování systému řízení jakosti dle norem ISO řady 9000 je identifikace příčin, snižujících jakost produktů a procesů, jejich odstranění a vytvoření podmínek pro to, aby se jejich vliv minimalizoval či vůbec neměl možnost působit. Dále snaha o rozsáhlou dokumentaci všech podnikových procesů. Jedním z efektivních, účinných a v dnešní době stále se rozšiřujících způsobů využívání statistických metod při operativním řízení procesů, zkoumání jejich způsobilosti a zkoumání schopnosti strojů (měřidel) je statistická regulace (řízení) procesů – SPC (6).

SPC vyžaduje mimo jiné i vytvoření takových podmínek, jako je jasné vymezení zodpovědnosti každého pracovníka za jakost, systém dokumentování všech činností, nařízení a rozhodnutí spojených se zabezpečováním jakosti, aby bylo možno jednoznačně dojít zpětně k prvotní příčině odchylky od požadované úrovně jakosti a vyvodit z toho kroky k nápravě.

Představení společnosti

Historie člena koncernu ZKL Holdingu, ZKL Brno, a.s., začala již v roce 1947, kdy vláda tehdejší ČSR rozhodla, v důsledku neustále zvyšujícího se zájmu o potřebu ložisek, založit nové specializované závody, které by byly orientovány na výrobu ložisek. Pro tento záměr byl vybrán podnik v Brně – Líšni. Zde byl položen základ pro výrobu ložisek společně s anglickou firmou Hoffman. V roce 1948 se již vyrábělo 28 typorozměrů, které byly za dva roky rozšířeny na 155 typorozměrů vyráběných již i v jiných závodech. V roce 1965 byl podnik začleněn do VHJ Zbrojovka Brno. V ZKL Brno dochází k vývoji nových typových řad axiálních a radiálních soudečkových ložisek.

K 1. 2. 1998 vzniká v rámci privatizace akciová společnost ZKL Brno. V témž roce se vytvořila pro potřebu prodeje obchodní divize včetně vybudování technicko-konzultačního střediska jako významné služby pro odběratele. Společnost dala podnět k ustavení samostatné výzkumně vývojové společnosti v zájmu vytváření nových konstrukcí ložisek s cílem zvýšit jejich užitnou hodnotu. Společnost je také držitelem certifikace systému řízení jakosti dle norem DIN EN ISO 9001:2000. Základní sortiment tohoto podniku představuje výroba dvouřadých soudečkových ložisek, axiálních soudečkových ložisek a speciálních ložisek.

Roční obrát společnosti činí 540 497 tis. Kč. Prodej kompletního sortimentu ZKL Brno zajišťuje ZKL Bearings, který je členem holdingu. Prodej uskutečňuje v České republice tak i v zahraničí, především v Latinské Americe a Asii.

V ZKL Brno a.s. pracuje celkem 541 zaměstnanců, z nichž 444 jsou dělníci. Ostatních 97 pracovníků jsou technicko-hospodářskými pracovníky, kteří představují z celkového počtu zaměstnanců 18%.

Současná úroveň systému řízení jakosti ve výrobním procesu je charakterizována velmi nízkou úrovní, což se projevuje ve značné zmetkovitosti, která dosahuje v průběhu roku až k 4,5%. Hlavní příčinou vysoké zmetkovitosti je nedodržování základních principů SPC, tzn. aplikace regulačních karet, jež slouží k objasnění, zda je proces pod statistickou kontrolou a umožňuje včas signalizovat existenci systematických vlivů, takže je možno učinit nápravná opatření.

Jakost je dosahována pouze zásahem mezioperační kontroly, který nemusí být vždy včasný. Z tohoto je patrné, že dělníci si neplní svoje pracovní povinnosti. Proto je nutné zavést systém a způsob vyhodnocování způsobilosti výrobního zařízení a procesu, které by současně mělo směřovat k podstatnému snížení zmetkovosti ve výrobě a postupně odstranit funkci mezioperační kontroly samokontrolou prováděnou dělníkem.

Současně je nutné u všech dělníků, mistrů i vedoucích středisek zvýšit všeobecné povědomí o jakosti výroby.

Identifikační údaje společnosti

Název: ZKL Brno, a.s.
Právní forma: akciová společnost
Sídlo: Brno – Líšeň, Trnkova 111, č.p. 2345, PSČ 632 00
IČ: 25507851
DIČ: CZ25507 851
Předmět podnikání: Koupě zboží za účelem jeho dalšího prodeje a prodej
Kovoobráběčství
Zámečnictví
Výzkum a vývoj v oblasti přírodních a technických věd
nebo společenských věd

1 Analýza stavu systému jakosti ve výrobě

V ZKL Brno je zaveden komplexní systém řízení jakosti, který zahrnuje systémová opatření v oblasti předvýrobní, výrobní a povýrobní. Při zavádění systému ISO 9001:2001 (Systémy managementu jakosti – Požadavky) byly vypracovány směrnice, které se užívají pro standardizaci určitých činností procesu či prvku a mají tedy podobu organizačně řídicích dokumentů, které upravují různé činnosti technicko – hospodářského charakteru. Slouží jako podklad pro řízení celého systému výroby ve všech jeho etapách.

Máli dokumentace plnit účinného a přímého nástroje řízení musí splňovat určité požadavky kladené na:

- Postup jejího zpracování
- Vnitřní strukturu a podobu dokumentace

Požadavky na řízenou dokumentaci lze tedy shrnout do následujících bodů:

- Dokumentace musí být čitelná, datovaná a snadno přístupná, udržovaná v pořádku a po určenou dobu archivovaná.
- Nově připravené nebo aktualizované dokumenty musí být přezkoumány a schváleny příslušnými pracovníky.
- Na místech, kde se dokumentace užívá musí být pouze platné dokumenty, zastaralé dokumenty musí být staženy a aspoň jedna podoba původního znění musí být archivována.
- Organizace musí provádět revize dokumentů, tj. проверки dokumentů, které se provádějí ve zhruba dvou a tříletých intervalech, a prověřuje se jimi jednak formální správnost dokumentu (jejich čitelnost a dostupnost na příslušných místech), jednak věcná správnost což umožňuje být impulsem k jejich aktualizaci.

Pro identifikaci dokumentace je třeba každý dokument opatřit hlavičkou, která obvykle obsahuje název a číselné značení dokumentu, údaje o stránkovém rozsahu

dokumentu (strana/celkový počet stran) a o změnovém stavu dokumentu (původní vydání – 0, první změna 1), popřípadě i přehled o čísle výtisku. (14).

Všechny výše uvedené požadavky kladené na provedení směrnic jsou ve firmě ZKL Brno, a.s. splněny ve všech bodech.

1.1 Předvýrobní etapa

Důležitou metodou, jak zajistit jakost v této etapě je koncepce včasné výstrahy, která spočívá v přezkoumání návrhu s cílem vyhodnotit jeho způsobilost plnit požadavky na jakost, identifikovat problémy, pokud existují a navrhnout postup řešení tak, aby konečný návrh splnil požadavky zákazníka. Je nutno konstatovat, že náklady na přezkoumání návrhu představují jen zlomek, jež by byly potřebné na zjištění nedostatků ve fázi výroby. (6)

Ve firmě je stanovený jednotný postup pro plánování, organizování a vlastní sledování projektů a řízení jejich realizace. Uplatňovaný je především při vývoji nových výrobků, plánování jakosti, zavádění nových technologií i při změnách organizace, především při vývoji nových výrobků, plánování jakosti, zavádění nových technologií, změnách organizace apod.

Účelem je efektivní dosažení přesně vymezených cílů ve stanovených termínech, nákladech a kvalitě, které umožní prosazení firmy na trhu. (6)

1.1.1 Řízení projektů

Způsob řízení projektů musí vycházet z námětů z různých oblastí řízení, které předkládají vedoucí jednotlivých úseků na poradě vedení. Po projednání námětu na poradě vedení a rozhodnutí o uskutečnění, vedení určí příslušného vedoucího úseku, který zpracuje návrh zadání projektu, jehož součástí je i jmenování projektového týmu složeného z vedoucího projektu, členů týmu a předloží je vedení společnosti ke schválení. Vedoucí projektu s týmem následně zpracuje řešení projektu s harmonogramem a milníky pro ověření průběhu řešení projektu.

Teprve po posouzení návrhu plánu řešení projektu porada vedení a její jednatele ji schválí k realizaci nebo vrátí k přepracování. Odpovědnost za realizaci jednotlivých úkolů je na vedoucím daného úseku. Projektový tým ověřuje průběh projektu v jednotlivých milnících na kritériích definovaných pro procesy projektu, pro produkt projektu a po jejich ověření uvolňuje projekt do další fáze. V případě zjištěných nedostatků je požadováno po vedoucím projektu přijetí nápravných opatření. Opatření, která nejsou v kompetenci vedoucího úseku jsou předložena k projednání na poradě vedení, která rozhodne o způsobu řešení daných opatření. Vyhodnocení projektu musí obsahovat informace o splnění zadání projektu, případně informace o skutečných nákladech. (19)

1.1.2 Schvalování prvních vzorků

Při zjišťování požadavků na vzorek se vychází vždy z požadavků zákazníka. Totéž se týká schvalování prvních vzorků s dodavatelem organizace, neboť organizace je povinna přenést požadavky zákazníka až na úroveň svých dodavatelů. Při schvalování prvních vzorků se předkládají společně s prvními vzorky i požadovaná dokumentace. Dokumentace může být upravena podle specifických požadavků zákazníka, která může spočívat například v požadavcích na formuláře, jazyk pro předkládání, specifickou formu dalších podpurných dokumentů, jako kontrolních plánů, FMEA apod. Jako podklady ke zkoušce slouží nabídkové výkresy, specifikace dohodnuté mezi firmou a zákazníkem, měřicí listy, a popř. zkušební zprávy vývoje. Tato zkušební zpráva je evidována v útvaru kvality předepsaným způsobem. (20)

Pro ložiska, která jsou uváděna v podnikovém katalogu firmy ZKL se neprovádí úkony uvedené v této kapitole. Jsou to ložiska unifikovaná, splňující požadavky normy ČSN 024630. V případě speciálních požadavků na funkci ložisek musí být postupováno dle výše uvedených instrukcí, aby byly splněny požadavky dané směrnice ZKL. Schvalování prvních vzorků hlavně pro kusovou výrobu, musí proběhnout už z důvodů možnosti ověření výroby a montáže dle zákaznické dokumentace. Činnosti, které souvisí s realizací této směrnice je spojena převážně s konstrukčním a obchodním oddělením firmy ZKL Brno, a.s.

1.1.3 Uvolňování k sériové výrobě

Uvolňování k sériové výrobě musí zabezpečit, aby dodávané výrobky byly vyráběny zvládnutými a způsobilými procesy a aby odpovídaly stanoveným požadavkům. Účelem výroby ověřovací série je vyzkoušet navrženou technologii výroby výrobku, její vybavení určenými výrobními prostředky a stanovení normy spotřeby času a materiálu. Počet výrobků ověřovací série je stanoven minimálně na 50 kusů dle VDA 2, a dle QS 9000 na minimálně 300 kusů. O průběhu ověřovací série vede vedoucí projektu dokumentaci, kde zaznamenává veškeré závady a poznatky. Současně se při výrobě ověřovací série odstraňují zjištěné technické a provozní nedostatky. Výrobu ověřovací série zajišťuje podle plánu výroby ověřovací série výrobní provoz, z hlediska technické přípravy výroby ji koordinuje vedoucí projektu, který vede i dokumentaci z ověřování jednotlivých dílů a zajišťuje vystavení příslušných protokolů. Během výroby ověřovací série a po jejím ukončení provádí TPV úpravy technologické dokumentace. Po skončení výroby ověřovací série TPV vydá kompletní technickou, výrobní a kontrolní dokumentaci dle rozdělovníku. Další změny v příslušné dokumentaci se nadále mohou provádět pouze formou změnového řízení. Na základě protokolů z výroby ověřovací série je svolán tým projektu, který vyhodnotí průběh a výsledky ověřovací série. V zápise z jednání týmu projektu jsou uvedeny všechny důležité poznatky pro sériovou výrobu, získané během výroby ověřovací série, typových zkoušek, provozu strojů a speciálního nářadí. Zápis z jednání týmu je podkladem pro převzetí dokumentace, speciálního nářadí, nového zařízení a strojů. Zápis z vyhodnocení ověřovací série je nezbytným podkladem pro vystavení protokolu uvolnění sériové výroby.

Uvolňování k sériové výrobě je dvoustupňovým procesem, který je nejdříve představován prvním stupněm – interním uvolněním a následně druhým stupněm, tedy uvolněním zákazníkem.

Uvolnění prvního stupně - interní uvolnění

Interní uvolnění představuje pouze dočasné uvolnění provedené před předložením vzorků zákazníkovi a pokud zákazník nepožaduje předložení vzorků ke schválení umožňuje toto uvolnění zahájení sériové výroby (dodávky). Základní podmínky, které musí být splněny pro uvolnění jsou:

- Musí existovat všechny dokumenty pro výrobu (technologická, výrobní, kontrolní dokumentace).
- K dispozici jsou všechny ověřené zkušební prostředky .
- Je připravený prokazatelně vyškolený personál a existují o tom záznamy.
- Je provedena FMEA a realizováno z ní vyplývající opatření.
- Je provedeno ověření způsobilosti strojů, měřících zařízení a procesu.
- Jsou vypracovány plány preventivní údržby strojů a zařízení.
- Jsou uzavřeny potřebné kvalifikační zkoušky technologie.
- Je provedeno interní uvolnění prvních vzorků, ověřovací série.
- vzorky jsou uvolněny zákazníkem (je-li to vyžadováno zákazníkem).
- Je prověřeno zajištění vstupních surovin, včetně potřebných atestů a zkoušek.
- Jsou k dispozici potřebné skladovací a odkládací prostory a jsou řádně vyznačeny.
- Jsou k dispozici potřebné kapacity strojní, výrobní a personální.

V případě, že jsou splněny všechny podmínky interního uvolnění pro sériovou výrobu, potvrdí schválení svým podpisem předseda komise, výrobní ředitel a vedoucí ÚŘJ. V případě, že není splněna některá z podmínek a bylo provedeno uvolnění s výhradou, vypracuje komise zprávu o zjištěných nedostacích včetně uvedení odpovědnosti za odstranění nedostatků a termínů plnění. Po splnění všech termínů provede komise kontrolu odstranění všech nedostatků. V případě, že je nutno uvolnění opakovat, vypracuje komise zprávu o zjištěných nedostacích včetně uvedení odpovědností za odstranění nedostatků a stanovení termínů plnění. Současně komise určí nový termín uvolnění pro sériovou výrobu.

Uvolnění druhého stupně – Uvolnění zákazníkem

Uvolnění zákazníkem představuje uvolnění sériových dodávek zákazníkem. Organizace tohoto uvolnění je dána specifickými požadavky zákazníka. Po obdržení stanoviska zákazníka zaznamená vedoucí ÚŘJ výsledek uvolnění do Protokolu o uvolnění sériové výroby. Další postup je závislý na výsledku předložení:

- Uvolněno – je uvolněna sériová výroba a dodávky.
- Podmínečně uvolněno – sériová výroba a dodávky jsou uvolněny za splnění stanovených podmínek, zpravidla je časové omezení. Příslušná interní opatření jsou zaznamenána v protokolu o uvolnění sériové výroby.
- Zamítnuto – sériové dodávky nejsou uvolněny, tento výsledek ruší interní uvolnění, které je nutno opakovat. (21)

Zpracované směrnice pro oblast předvýrobní etapy pokrývají v teoretické rovině celou tuto oblast činností. Zaobírají se problematikou od přípravy projektu až k jeho uvolnění do sériové výroby. Předvýrobní etapa z hlediska výroby zahrnuje výrobu ověřovací série, která má za cíl odhalení vzniku možných problémů v sériové výrobě. Na základě poznatků z této výroby se v případě výskytu problému musí realizovat nápravná opatření pro odstranění vzniklých problémů nedostatků a následně se přechází již k vlastní sériové výrobě, při níž by se již neměly vyskytovat žádné problémy. Je tedy patrné, že směrnice, co se týká této oblasti jsou zpracovány dobře.

Přesto, že směrnice jsou zpracovány dobře, jejich implementace do výrobní oblasti neprostoupila všechny úrovně řízení, tedy vedoucí středisek, mistry, seřizovače ale i dělníky. Směrnice ve výrobní oblasti jsou brány velmi laxně.

Pokud jakost není pochopena a aplikována vedoucími pracovníky, kteří v ní nevidí žádný přínos, není tento přístup realizován ani na mistry jednotlivých středisek, natož potom na seřizovače a dělníky. V tomto případě pak nemůžeme mluvit o systému jakosti vůbec.

Právě dělník, který v systému jakosti nevidí žádný přínos ji nebude aplikovat a všechny činnosti z ní vyplývající bude brát jen jako nutné zlo. V tomto okamžiku nastupuje meziperační kontrola, která bude představovat vlastní systém kontroly

ve 100% rozsahu, což ale není možné, aby u každého pracovníka stála osoba, která ho bude kontrolovat.

Informace o začátku ověřovací série nepřicházejí z oddělení plánování výroby včas. Vzniká tím nedostatečná doba pro přípravu řešení problémů, jako je určení řezných podmínek, brousících materiálů apod. V některých případech neprobíhá ověřovací série v první směně, tedy kdy jsou přítomní techničtí pracovníci. Získávat informace z tohoto důvodu následující den není dostatečné jednak z důvodu nepřítomnosti daných pracovníků realizující danou ověřovací sérii a také z důvodu, že dělníci si nevedou poznámky z průběhu dané operace. Je nutno uvést, že není jejich povinností vést poznámky o daném průběhu.

Ze stejného důvodu není také možné včas připravit technickou dokumentaci nástrojů, přípravků a výrobních pomůcek. Z tohoto důvodu se využívá a upravuje stávající vybavení ke strojům z jiných součástí typorozměrů ložisek, tzn. z tvarově podobného většího nebo menšího vybavení. Ve většině případů totiž existuje ještě rezervní sada vybavení.

Po ukončení ověřovací série by se měly provést úpravy technické a konstrukční dokumentace. Úpravy technické dokumentace se neprovádějí okamžitě z důvodů zaneprázdněnosti pracovníků konstrukce jinými již opožděnými úkoly.

Technologická dokumentace je po stránce sledu operací ve většině případů v pořádku a pokud není, je okamžitě opravena, protože je podle ní realizován výrobní proces.

Z důvodu průběhu ověřovací série v druhé a třetí směně, musí vycházet normy spotřeby času z podobných typorozměrů, což neodpovídá skutečnosti, to znamená, že v některých případech jsou časy zbytečně vysoké.

Tyto příčiny jsou způsobeny především tím, že není vzájemná komunikace mezi technickým oddělením a oddělením plánování výroby.

1.2 Výrobní etapa

Nejdůležitější část výroby konečného produktu je soustředěna na vlastní proces výroby, kdy se transformují vstupní prvky do požadovaných výstupů –výrobku, kde již jakost nelze zvýšit, ale při nedodržování požadavků a podmínek stanovených v předvýrobních etapách může naopak dojít k snížení jakosti oproti požadované úrovni. Proto je nutné zajistit ve výrobě následující:

- zajištění tvorby podmínek stanovených v předvýrobních etapách
- vytvoření stabilních podmínek pro plynulý průběh výrobního procesu
- minimalizace ztrát spojených s výskytem neshodných výrobků.

1.2.1 Řízení technické dokumentace

Pro zajištění jednotného systému, rozsahu a druhu údajů uváděných v technické dokumentaci byly zpracovány zásady pro jejich zpracování, údržbu a použití. Konstrukční a technologická dokumentace je vstupním a rozhodujícím podkladem pro zajištění jakosti v nakupování, výrobním procesu, ověřování výrobku, manipulaci a uskladnění. Zpracování technické dokumentace k novému výrobku realizuje a zabezpečuje technický úsek. Rozsah technické dokumentace k výrobku, není-li stanoven zákazníkem nebo odbornými útvary, stanovuje technolog a schvaluje vedoucí technologické přípravy výroby. Technická dokumentace k výrobku obsahuje minimálně:

- operační návodku
- kontrolní návodku pro první kus
- mezioperační kontrolní návodku
- list seřizovače a seřízení stroje obsluhou.

Konstrukční dokumentace

Při kreslení výkresů musí být respektovány platné ISO, ČSN a podnikové normy přijaté společností za závazné. Konstrukční dokumentace obsahuje výkresy jednotlivých výrobků (sestavy, podsestavy, detaily), výkresy polotovarů, kusovníky, výkresy nástrojů, přípravků a výrobních pomůcek, výkresy speciálních měřidel, výkresy zákazníka. Při schvalování konstrukční dokumentace přezkoumá technolog splnění platných norem, požadavků zákazníka a předpisů o technologičnosti. O této prověře je proveden záznam.

Následně provede vedoucí konstrukce ověření správnosti a úplnosti výkresu sestavy a detailů a potvrdí je do kolonky schválil v rohovém razítku výkresu. Pro pojmenování a číslování výkresů je u této firmy vytvořený jednotný systém, který pro standardní provedení má tvar:

X	X	-	X	X	X	X
X – číslo součásti						
	1 – vnější kroužek					
	2 – vnitřní kroužek					
	3 – valivá tělesa					
	4 – klec					
	5 – vodící kroužek, plovoucí nákrůžek					
	6 ÷ 9 – rezervováno					
X - 0 ÷ 9 specifikace odlišnosti konstrukce						
XXXX – pořadové číslo v archivu						

Pokud není na výkresu uvedeno jinak, je výkres určen sériové výrobě. Ve výrobě se používají tři základní druhy výkresové dokumentace.

Prototyp, jsou výkresy určené k výrobě prototypů a funkčních vzorků. Musí být označeny výrazným přetiskem červené barvy „Prototyp“.

Dále se jedná o ověřovací sérii, které představují výkresy určené k ověření výrobku a technologie, opět musí být označeny výrazným přetiskem červené barvy „Ověřovací série“.

Posledním typem výkresové dokumentace je informativní výkres, který slouží pro potřeby propagace a servisu. Tyto výkresy jsou po obsahové stránce omezené, představují neřízenou dokumentaci a taktéž musí být označeny přetiskem „Pouze pro informaci“.

Konstrukční dokumentace, jako podklad výroby, musí být trvale udržována, aby odpovídala současnému stavu výroby a byl současně zaručen naprostý soulad mezi originály a všemi vydanými kopiemi. Každý výkres je podle čísla výkresu evidován na evidenční kartě, na které jsou rovněž evidovány všechny vydané kopie. Nesmí být prováděny kopie již vydaných výtisků výkresů, výpisy konstrukčních hodnot a tyto používány pro výrobu nebo činnosti, které by mohly i nepřímo ovlivnit kvalitu.

Technologická dokumentace

Technologická dokumentace je zpracována na základě konstrukční dokumentace a požadavků zákazníka. Musí odpovídat technologickému vybavení firmy a bezpečnostním předpisům při práci. Mezi základní technologické dokumenty patří technologické postupy ve formě návodek s kontrolní návodkou prvního kusu a mezioperační kontrolní návodkou, seznamový list (nářadí, měřidla, upínače), list seřízení stroje obsluhou, list seřizovače a pracovní instrukce. Zpracování technologického postupu provádí technolog a určuje sled technologických operací, výkonovou normu včetně vybavenosti jednotlivých operací. Výkonové normy jsou zpracovány technologem na základě normativů a provedených snímcích pracovního dne. Technologický postup obsahuje:

- název obrobku, označení typorozměru,
- chronologický seznam operací s číslem operace,
- středisko, pracoviště, stroj,
- popis operace,
- výkresové číslo součásti,
- náčrt s vyznačenými rozměry a parametry pro opracování,
- stanovení řezných podmínek – režimů,
- datum zhotovení postupu,
- podpis zpracovatele na návodce a schvalujícího vedoucího na seznamu návodek,

- seznamový list nářadí, nástrojů a měřidel,
- informace o osobních ochranných pomůckách pracovníka,
- kontrolní návodka 1. kusu,
- mezioperační kontrolní návodka,

Nové technologické postupy vytváří v elektronické podobě postupář a schvaluje vedoucí postupů. Technologické postupy v papírové podobě jsou archivovány v oddělení technologické přípravy výroby. Technologické postupy v elektronické podobě se archivují včetně všech předchozích modifikací na podnikovém počítačovém serveru a nejsou vydávány v tiskové podobě.

Kontrolní dokumentace

Kontrolní dokumentace určuje a zajišťuje způsoby a metody měření, jejich zaznamenání a vyhodnocení s ohledem na předepsané podmínky a požadavky zákazníka. Kontrolní dokumentace obsahuje kontrolní plán, kontrolní návodku prvního kusu, mezioperační kontrolní návodku a kontrolní návodku. (22)

Nedostatky ověřovací série se musí objevit v této etapě. Jedná se tedy především o problémy konstrukční a technologické dokumentace. Tzn. vzhledem k tomu, že ve výrobě dochází k opotřebení části nářadí nebo k jeho zničení je nutná jeho obnova. Tato obnova je realizována na základě výkresové dokumentace, která slouží jako podklad pro jeho výrobu.

Protože oddělení konstrukce z důvodu zaneprázdněnosti neeviduje změny nejenom nářadí ověřovací série, ale i stávajícího nářadí, velice často dochází při jeho výrobě k zhotovení zmetků již dle konstrukčního výkresu z výše uvedeného důvodu, přestože jsou na to technology upozorňováni. Právě z těchto důvodů si technologové kreslí výkresy vybavení sami a dle zavedeného systému evidence nejsou jejich výkresy archivovány. Na základě toho se stává, že pro některé nářadí není v daném okamžiku výkresová dokumentace k dispozici. V tomto případě se musí výkresová dokumentace vytvořit na základě existujícího nářadí. Tento stav je na jedné straně obhajitelný, protože velká část archivu výkresové dokumentace zůstala u firmy ZETOR TRACTORS a.s.

Protože jak výše uvedeno při ověřovací sérii je na základě technologické dokumentace realizována výroba, musí být tato dokumentace po technické stránce v pořádku. V tomto případě se jedná o sled operací, přídavky pro jednotlivé operace atd. Jediný problém vzniká z hlediska normy spotřeby času, která někdy nebývá při ověřovací sérii stanovena z důvodu uvedených v bodu 2.1.3. Tento nedostatek je odstraněn v průběhu výrobní etapy.

1.2.2 Kontrola a zkoušení

Kontrola a zkoušení musí zajistit, aby zákazník neobdržel produkty dříve, než se ověří shoda se stanovenými požadavky. Při činnostech spojených s kontrolou a ověřováním je nutné vymezit odpovědnosti a zajistit, aby tyto činnosti probíhaly řízeným způsobem ve shodě s požadavky dokumentovaných postupů. Před kontrolou v průběhu vlastního výrobního procesu proběhne nejprve vstupní kontrola nakupovaných materiálů a produktů. Tato kontrola je zajišťována diferencovaně dle vlivu nakupovaného materiálu na jakost finálního výrobku a s přihlédnutím rizika možné vadné dodávky. Na základě kontroly se rozhodne o přijetí nebo pozastavení dodávky. Mohou nastat celkem dvě situace, kdy přejímka je bez zjištěných závad, nebo se zjištěnými závadami. Zde můžeme dodávku odmítnout jako celek, kdy ve zprávě pro dodavatele musí být uveden důvod nepřevzetí dodávky. Druhá varianta spočívá v podmíněném přijetí dodávky, a to tehdy, pokud zjištěná neshoda zásadně neovlivňuje stav a vlastnosti materiálu nebo se zjištěnou neshodou vyjádří souhlas k dalšímu zpracování zadavatel parametrů výrobku.

Kontrola jakosti v průběhu výroby je zajišťována na výrobních střediscích v úzké spolupráci mistra střediska, pracovníka dílenské technické kontroly, seřizovačů a obsluhy strojů. Kontrolní operace jsou prováděny na “Kontrolních místech“, která jsou vybavena potřebnou dokumentací a prostředky (kontrolní návodka, výrobní výkres, měřicí prostředky, karty naměřených hodnot, regulační karty příp. karty sledování vad). Při zahájení výroby se provede příprava pracoviště a příslušných podkladů na kontrolním místě. Seřizovač provede seřízení hodnoty parametrů stroje na střed tolerance a zhotoví první kus , který proměří. Pokud vyhovuje předá je dílenské technické kontrole ke schválení. Zde se provede kontrolní měření a v případě, že se

naměřené hodnoty pohybují na hranici tolerance je nutné provést nové seřízení stroje, jinak se provede záznam do protokolu prvního kusu o schválení. Současně se první kus schválí označením zelenou etiketou, datumem a osobním razítkem. Tímto je výroba uvolněna. Seřizovač uloží takto označený první kus na příslušné kontrolní místo jako vzorový kus. Po zahájení výroby provádí seřizovač předepsané kontrolní operace - primární mezioperační kontrolu. Parametry ke zkoušení, měřicí prostředky, četnost kontrol a další údaje jsou předepsány v kontrolních návodkách. O výsledcích zkoušek jsou vedeny příslušné záznamy. Sběr záznamů a jejich archivaci, s výjimkou regulačních karet zajišťuje pracovník dílenské TK. Regulační karty jsou archivovány na příslušném nákladovém středisku. Jejich kontrolu a předání dílenské TK zajišťuje mistr příslušného střediska. Následné vyhodnocení těchto záznamů zajišťuje pracovník ÚŘJ. Vyhodnocené záznamy předá mistrovi příslušného střediska, který ve spolupráci s technologem zajistí stanovení nových regulačních mezí.

Nezávisle na primární kontrole provádějí pracovníci dílenské TK mezioperační kontrolu dle příslušných kontrolních návodů. V případě zjištění neshody nechá pracovník dílenské TK zastavit výrobu a ve spolupráci s mistrem řeší danou neshodu. Záznam o provedené mezioperační kontrole provede pracovník dílenské TK do „Průvodky“. Z řad nejlepších výrobních dělníků, seřizovačů, kteří dlouhodobě vykazují vysoce kvalitní výsledky, jsou na základě sledování ÚŘJ/TK vybráni jedinci, kterým je uděleno na základě stanovené metodiky pro certifikaci osob osvědčení k výkonu kontrolních činností (samokontroly).

Pracovník je povinen po provedení operace součástku proměřit dle dokumentace a označit razítkem s vlastním číslem. Za označenou operaci ručí pracovník za její kvalitu v plném rozsahu. Jeho produkce je kontrolována pracovníkem TK pouze namátkově. Pokud je pracovníkovi opakovaně TK prokázána neshoda, je mu razítko samokontroly odebráno nejméně na dobu 1 roku. Po této době může opětovně prokazatelnou kvalitou odváděné produkce usilovat o jeho nabytí.

Mezioperační kontrola má za úkol kontrolovat základní parametry jakosti během výrobního procesu, dodržování stanovených technologických postupů, kvalitu provedení prvních kusů vyrobených po seřízení stroje a zastavovat provádění vadných operací. Kromě toho přebírat do navazující části výrobního procesu pouze takové kusy, které vyhovují předepsané dokumentaci a potvrzuje provedení kontroly, počtu

shodných, neshodných a opravitelných i neopravitelných kusů. Současně také kontroluje, zda dělníci používají k měření pouze kalibrovaná měřidla.

Výstupní kontrola provádí kontrolu dle kontrolních návodek a neshodné výrobky uloží podle druhu zjištěných závad do stanovených prostorů.

Kromě výše uvedených vstupních a výstupních kontrol a kontrol v průběhu výrobního procesu probíhají periodické zkoušky a zkoušky prvních kusů. Periodické zkoušky se provádějí v intervalech stanovených v kontrolních plánech zkoušek. Rozsah zkoušek, použitá měřidla a metodika zkoušení je stanovena ve zkušebním postupu, který zpracovává vedoucí zkušebny pro všechny produkty uvedené v kontrolních plánech zkoušek. Nevyhovující protokoly ze zkoušek jsou následně projednány na mimořádných poradách, kde jsou iniciována případná nápravná opatření. První vzorky jsou přezkoušeny dodavatelem i odběratelem podle kontrolního postupu, výkresové dokumentace.

U produktů, u kterých to vyžaduje zákazník je prováděn výrobkový audit. Audit je prováděn na základě plánu výrobních auditů a provádí ho stanovený auditor. Výrobkový audit je prováděn na hotových produktech připravených k expedici. Výsledky auditů slouží k hodnocení úrovně jakosti produktů a jsou pravidelně vyhodnocovány a projednávány vedením v rámci „Rady jakosti“. (24) Audit výrobků je zvláštním druhem periodické zkoušky, jejímž účelem je hodnocení úrovně jakosti výrobků z hlediska splnění požadavků zákazníků. Neshody zjištěné auditem se zaznamenávají a vyhodnocují, což vede k odhalení opakujících se problémů a umožňuje jejich prevenci. Audity rozdělujeme na plánované audity a neplánované. Plánovaný audit se provádí na základě ročního plánu auditů výrobků. Plán stanovuje termíny, kdy má být vykonán výrobkový audit, v jakém rozsahu a na kterých výrobcích. Tento plán sestavuje referent jakosti. Potřeba neplánovaného výrobního auditu vychází z momentálních problémů a těžkostí ve výrobním procesu, například při reklamaci většího rozsahu. Před započítím ověřování je pro každý ověřovaný výrobek sestaven postup prověřování, který obsahuje údaje o velikosti vzorku, odběrovém místě, způsobu odběru, výkresových a normalizačních podkladech, dále obsahuje seznam zkoušených vlastností, zkušební postupy a klasifikaci možných chyb. Pro provedení auditu musí auditor provést odběr vzorků, který se musí uskutečnit nečekaně, aby se získal pravdivý obraz o kvalitě. Odebrané vzorky se označí pořadovým číslem, aby nemohlo dojít

k jejich záměně. Hodnocení se provádí pomocí kontrolních znaků rozdělených do pěti skupin: na balení, vzhledové, rozměrové, funkční a fyzikální. V každé z těchto skupin jsou uvedeny chyby seřazené podle třídy chyb a váhového činitele uvedeného v tabulce. Za chyby jsou považována všechna nesplnění specifikovaných požadavků. Neshodné rozměry (parametry) se zvýrazní červenou barvou. (23)

Protože pracovníci výstupní kontroly provádějí kontrolu každého vyrobeného kusu je v tomto případě vysoká úroveň jakosti dosahována tímto způsobem. Je to právě ten kritizovaný způsob dosahování vysoké jakosti při níž vznikají velké náklady při odstraňování výrobků, které nesplňují požadavky na jakost, neboť není sledována již při vlastním procesu výroby. Nízká úroveň jakosti ve výrobním procesu je způsobena nedodržováním povinnosti dělníka, které jsou jednoznačně uvedeny u každého stroje a také mnohdy nízkou kvalifikací případně i kvalifikací z jiného oboru než strojírenského.

1.2.3 Neshodný produkt

Smyslem řízení neshodného produktu, tzn. neodpovídajícího přesným specifikacím, je zabránění v jeho dalším zpracování ve výrobním procesu a odeslání tohoto produktu zákazníkovi. Tyto neshodné produkty musí být zachyceny, identifikovány, zaevidovány a odděleny od shodných dílů. Následně musí být řešena a přijímána nápravná opatření, která budou minimalizovat vznik opakovaných neshod. Pro neshodné produkty zachycené v jednotlivých etapách výrobního procesu platí zásady:

- identifikace neshody,
- evidence neshody,
- oddělení neshody,
- řešení neshody,
- vyhodnocení neshody,
- přijetí nápravných opatření,
- vyhodnocení nápravných opatření.

Neshodné produkty jsou podle zachycení ve výrobním procesu rozděleny na neshodný produkt na vstupu, který je představován dodávkou produktů nebo materiálu od dodavatele neodpovídající specifikaci, neshodný produkt kooperační, při němž rozpracovaný produkt vracející se zpět do výrobního procesu od dodavatele kooperace neodpovídá specifikaci, dále neshodný produkt ve výrobním procesu neodpovídající specifikaci předepsané technologickým nebo kontrolním postupem a ještě neshodný hotový produkt, který neodpovídá zákazníkem předepsané specifikaci.

Neshodné výrobky zjištěné ve výrobním procesu mezioperační kontrolou jsou od výrobků vyhovujících odděleny a podle charakteru neshody je zvoleno jedno z následujících řešení:

Neshodné produkty opravitelné

- Neshoda je opravitelná při dalším průchodu některé z již provedených operací
- Neshoda je odstranitelná při provedení následujících operací

Neshodné produkty neopravitelné

- Uvolnění na odchylku, kde se jedná se o neshody, které neovlivní funkční vlastnosti produktů
- Ostatní neshodné produkty neopravitelné.

1.2.4 Řešení problému jakosti metodou 8 - KP

Neshodné produkty jsou vyloučeny z výrobního procesu a uloženy do izolátorů zmetků příslušných technických kontrol.

U každé zjištěné neshody, musí být provedeno opatření k odstranění její příčiny. K realizaci opatření musí být nejdříve provedena analýza neshody a určena její příčina. Mistr příslušného střediska společně s pracovníkem mezioperační kontroly zjistí příčinu neshody a odstraní ji. V případě, že příčinu neshody nezjistí nebo není v jejich silách její odstranění, je přizván k řešení neshody technolog. Příčina a způsob odstranění neshody musí být zaznamenána do knihy neshod. (25)

V případě řešení závažných neshod vznikajících v případech, kdy nelze určit příčinu neshody a odstranit ji, neshoda se pravidelně opakuje ze stejné příčiny, zjištění nebezpečné závady při auditu výrobku, neshoda jejíž důsledkem byl výpadek dodávek a

další případy stanovené Radou jakosti, je na tyto případy vystavován "Problémový list". Problémový list je dokument dokladující průběh řešení vždy jednoho problému jakosti metodou 8 - KP. Pomocí této metody se problém řeší celkem v osmi krocích:

První krok představuje formulaci problému a cíl řešení. K přesnému popisu využijeme všechny dostupné informace. Problémy, které nelze slovně dostatečně popsat doplníme nákresem, který bude přílohou „problémového listu“. Na základě formulace problému je nutno stanovit cíl řešení daného problému. Tento krok definuje a zpracovává vedoucí ÚŘJ.

V druhém kroku se zaměřujeme již na nutná okamžitá opatření, které zabrání okamžitému opakování výskytu problému nebo jeho rozšíření. Tato opatření přijímáme, pokud kontrola označila výrobky nevyhovujícími a přijímáme je do doby zavedení konečných nápravných opatření, aby se nedostatky nedotkly zákazníka.

Ve třetím kroku provedeme analýzu problému a stanovení příčin vzniku daného problému. Při analýze jsou řešitelským týmem, jeho jednotlivými členy shromážděny a vyhodnoceny všechny dostupné údaje o problému a v případě potřeby je proveden dodatečný sběr dat a jejich vyhodnocení. Při analýze je doporučeno použití statistických metod například Ishikawův diagram, Paretova analýza, histogram, analýza rozptylu, případně další. Na základě výsledku analýzy stanoví tým nejpravděpodobnější příčiny a experimentálně ověří správnost svého rozhodnutí.

Ve čtvrtém kroku se stanovují nápravná opatření, která by mohla vést k odstranění příčin. Je třeba zvolit pravděpodobně nejúčinnější opatření a neprodleně stanovit úkoly k realizaci daného opatření.

V pátém kroku prověříme účinnost zavedených opatření s tím, že tato opatření nesmí způsobit nežádoucí vedlejší účinky. Do problémového listu se nakonec zaznamená ověření zavedených opatření. V opačném případě se musí znovu přistoupit k analýze problému, tedy k třetímu kroku.

Šestý krok znamená zamezit opakovanému výskytu problému a jeho příčiny, stanovení takových opatření, která tomu zamezí. Zároveň se prozkoumá, jestli stejný problém nemůže nastat u podobných produktů nebo postupů (situacích) a případně navrhne určitá opatření i zde.

V dalším, tedy již sedmém kroku se provede vyhodnocení řešeného problému jakosti vedoucím řešitelského týmu. Hodnocení je zaměřeno na dostatečnost a preventivní působení přijatých opatření pro zamezení opětovného výskytu v jakosti. Současně s tím se navrhne, zda je možné tuto problematiku uzavřít nebo v ní pokračovat a jakým směrem jít dále.

V posledním osmém kroku je problémový list se záznamem jednotlivých kroků řešení problému předán všem útvarům zapojených do řešení. (26)

Pokud není možné produkt opravit průchodem již provedených operací, nebo následující operací je tato směrnice bezezbytku naplněna.

1.3 Závěrečné hodnocení stávajícího stavu

Zpracované směrnice pro oblast předvýrobní etapy pokrývají v teoretické rovině celou tuto oblast činností. Zaobírají se problematikou od přípravy projektu až k jeho uvolnění do sériové výroby. Předvýrobní etapa z hlediska celku zahrnuje výrobu ověřovací série, která má za cíl odhalení vzniku možných problémů, které by se objevily v sériové výrobě. Směrnice vyjadřují postup, jak v případě výskytu problémů se musí realizovat nápravná opatření, která odstraní tyto nedostatky. Po odstranění těchto nedostatků se následně přechází již k vlastní sériové výrobě, jež je ošetřena opět příslušnou směrnicí a při jejím zahájení by se již neměly vyskytovat žádné problémy. Je tedy patrné, že souhrn směrnic, týkajících se této oblasti je zpracován dobře.

Přesto, že směrnice jsou vypracovány na dosti vysoké úrovni a tak, že jejich postupy dávají předpoklad zvyšování jakosti konečných výrobků, jejich implementace do procesu výroby neprostoupila všechny úrovně řízení, tedy mezi vedoucí středisek, mistry, seřizovače ale nakonec i mezi dělníky. Je možno konstatovat, že aplikace výše uvedených směrnic v procesu výroby, které byly za účelem zvyšování jakosti ve

výrobní oblasti v rámci přijetí systému jakosti ISO 9000 u firmy realizovány, jsou brány velmi laxně.

Pro potřebu dosahování úrovně jakosti je potřeba vnitřní odpovědnost každého pracovníka i na těch nejnižších úrovních. Toto vyžaduje také i požadavek patřičné odbornosti při výběrů pracovníků a z hlediska vedení firmy i odpovídající motivaci.

Cílem této diplomové práce je na základě poznatků z praktického řešení problémů v systému statistické regulace řízení jakosti u firmy ZKL Brno a.s., kde dle stávajícího stavu je zmetkovitost na relativně vysoké úrovni, provést analýzu stavu jak v předvýrobní, tak i výrobní etapě a to za účelem snížení stávající zmetkovitosti výroby soudečků. V našem případě se jedná o proces přípravy a jejich výroby, která je jako jeden z mnoha dílů ložiska.

Problém jakosti v povýrobní etapě, ve smyslu uvedeném v literatuře, která se týká plnění požadavku na jakost u zákazníka jako kompletního výrobku, není proto součástí této diplomové práce.

2 Přehled metod řešení problému jakosti

Přijmeme-li názor, že podnik, který chce obstát v konkurenci, musí trvale usilovat o zvyšování jakosti při současném snižování nákladů, pak přirozeně vyvstane otázka, jak má být těchto cílů konkrétně dosaženo, v jaké fázi výrobního procesu a hlavně jakými prostředky. Nastane otázka, zda existují nějaké univerzální metody, které umožňují dosažení uvedených cílů. Ano existuje velké množství metod a nástrojů uplatňovaných v různých etapách výrobního procesu. Metody, které zde budou dále uvedené jsou aplikovatelné v jednotlivých etapách výrobního procesu.

Jakost v procesu vzniku výrobku

Z procesu vzniku výrobku, jež je představován ze vzájemně na sebe navazujících činností vyplývá, že každá etapa se podílí na výsledné jakosti výrobku. V případě, že v některé etapě není dostatečně věnována pozornost jakosti, degradují se výsledky dosažené v ostatních etapách. Proto plánování jakosti je základním východiskem všech dalších činností při výrobě konečného produktu. (8) Čím lépe jsou výchozí záměry a návrhy propracovány, tím méně problému se vyskytuje při vlastní realizaci, což v konečném důsledku vede jak k úspoře nákladů, tak i ke zkrácení celkové doby od záměru k realizaci. Proto je nutné jakost sledovat jak v předvýrobní, výrobní tak i v povýrobní etapě.

2.1 Současný stav statistické regulace v řízení jakosti

Stávající stav zabezpečování jakosti spočívá v kontrole jakosti produktů vystupujících z daného výrobního procesu a vyloučení těch, které nesplňují požadavky dané jejich specifikací. Vzhledem k požadavkům výrobců na vysokou produktivitu práce a požadavku snižování nákladů na výrobek z hlediska konkurence na trhu, se zdá být tento způsob kontroly za účelem zvyšování jakosti velmi neúčinný. Moderní přístupy zabezpečování jakosti jsou postaveny na předcházení zbytečnému vynakládání zdrojů na konečný produkt – výrobek. Je-li tedy výrobek výstupem výrobního procesu, pak je nutné sledovat kvalitu výrobního procesu, nebo-li neustále získávat informace o

chování procesu a po jejich analýze účinně působit na proces tak, aby výstup, tj. výrobek měl požadované vlastnosti a funkce. Tyto předpoklady a požadavky splňuje metoda statistické regulace v procesu řízení jakosti – SPC jejíž princip spočívá ve statistickém vyhodnocení výstupu procesu pomocí výběrových charakteristik zvoleného znaku jakosti za účelem udržení požadované úrovně tohoto procesu.

2.1.1 Elementární statistické metody

V praxi jsou nejčastěji používány tyto statistické metody a analytické nástroje:

- Kontrolní formuláře, záznamníky a grafy - (standardní použití)
- Histogramy - (standardní použití)
- Vývojové (postupové) diagramy - (standardní použití)
- Paretova analýza - (standardní použití)
- Diagram příčin a následků - (ojedinělé použití)
- Regulační diagramy - (standardní použití)
- Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA) - (standardní použití)
- Ověřování způsobilosti stroje a procesu - (standardní použití)

Standardní použití statistických metod a analytických nástrojů znamená, že daná metoda nebo nástroj je využíván v praxi ve větší míře (v průměru min. v 5 případech za rok).

Ojedinělé použití statistických metod a analytických nástrojů znamená, že daná metoda nebo nástroj je využíván v praxi výjimečně ve speciálních případech - v menší míře (v průměru max. ve 4 případech za rok).

Kontrolní formuláře a grafy

Cílem kontrolních formulářů a záznamníků je vhodnou formou zaznamenat zjištěná data sledovaného souboru. Kontrolní formuláře a záznamníky jsou součástí informačního systému a umožňují nám zachytit prvotní informace sledovaného souboru, které můžeme dále podrobit různým rozborům. Cílem grafů je vhodnou formou graficky znázornit zjištěná data sledovaného souboru z důvodů názornosti a prezentace zjištěných dat a výsledků. (3)

Histogramy

Histogram představuje grafické znázornění intervalového rozdělení četností (např. četnost jakostního znaku - rozměru výrobku). Jde o sloupkový graf, kde výška jednotlivých sloupků vyjadřuje četnosti hodnot sledované veličiny. Histogram poskytuje velmi rychlou informaci o tvaru rozdělení statistického souboru, o jeho statistických charakteristikách (míře polohy a variability), popř. lze z histogramu identifikovat některé systematické vlivy působící na sledovaný proces. (3)

Vývojové (postupové) diagramy

Tyto diagramy slouží ke grafickému znázornění a popisu jakéhokoliv procesu. Pro sestavení vývojových diagramů se využívá jednotná symbolika daná ČSN ISO 5807. (3) Při sestavování diagramu se doporučuje pracovat v týmu. Postup tvorby diagramu je následující:

- Definovat proces pro sestavení vývojového diagramu.
- Sepsat všechny činnosti (i dílčí činnosti) probíhající v definovaném procesu, předcházející proces a navazující na proces.
- Postupně sestavovat vývojový diagram. Při sestavování je třeba pokládat následující dotazy:
- Co se stalo nejdříve ?
- Co má následovat ?
- Co se děje rozhodne-li se ANO ?
- Co se děje rozhodne-li se NE ?
- Kdo rozhoduje ?
- Kam výrobek pokračuje ?
- Co se stane jsou-li výsledky zkoušek mimo tolerance ?

Paretova analýza

Cílem Paretovy analýzy je proniknout do podstaty jevů, odlišit jevy podstatné od méně podstatných, určit hlavní nositele problémů a následně vymezit směr pro hledání nápravných opatření.

Základem této metody je skutečnost, že u většiny jevů, na jejichž vzniku se podílí velká řada faktorů, lze vysledovat několik málo činitelů, které jevy ovlivňují rozhodujícím způsobem. Tyto faktory se považují za „životně důležité“, zatímco ostatní, které tvoří převážnou většinu souboru faktorů, se pokládají z hlediska jejich působení na celkový efekt zkoumaného jevu za „nevýznamné“.

Většina problémů s jakostí (80 - 95 %) je způsobena malým počtem příčin (5 - 20 %). Tyto příčiny se nazývají „životně důležité menšiny“, které se snažíme odhalit a následně odstranit. (3)

Diagram příčin a následků (Ishikawův diagram)

Tento nástroj je základním jednoduchým nástrojem shromažďování informací o procesech, výsledcích, výkonnosti procesu za účelem jeho zdokonalování. Dle svého tvůrce je rovněž nazýván Ishikawův diagram (3) nebo diagram rybí kosti (vzhledem ke svému tvaru). Svou povahou je tento nástroj určen pro týmovou práci a lze jej použít při řešení všech potenciálních problémů. Při aplikaci na oblast řízení jakosti lze diagram příčin a následků brát jako metodu analýzy variability procesu. Pomocí něj lze odhalovat vztahy mezi příčinami a následky, tzn. hledáme všechny možné příčiny způsobující výskyt zmetků. V praxi se používají tři úrovně v diagramu příčin a následků:

- definujeme jednoznačně problém, který chceme analyzovat a odstranit.
- definujeme hlavní příčiny způsobující problém

k definici jednotlivých hlavních příčin se ptáme, co je podstatou každé hlavní příčiny a co by mohlo ke každé hlavní příčině přispět. Takto postupujeme ke stále nižším příčinám až je nalezena nejnižší úroveň příčin.

Regulační diagramy

Regulační diagram slouží k zajištění trvalé kontroly a stability v procesu jakosti. Není-li řečeno jinak, myslí se tzv. Shewhartovy regulační diagramy, které v současné době zahrnují většinu regulačních diagramů. Tento diagram byl jako grafický prostředek ke kontrole jakosti výrobního procesu navržen Dr. W. Shewhartem v roce 1924 lit.(5). Při stanovení regulačních mezí bylo využito principů matematické statistiky. Tyto meze byly stanoveny ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od centrální přímky, kde σ představuje směrodatnou odchylku sledované charakteristiky. Vycházelo se z toho, že většina znaků jakosti má normální rozdělení a pro toto rozdělení platí, že v intervalu $\pm 3\sigma$ leží 97,3% všech hodnot.

2.2 Metody vedoucí ke zvyšování jakosti

Když se ve třicátých letech zásluhou američanů Romiga a Shewarhda objevily první statistické metody kontroly, zrodil se model výrobních procesů s výběrovou kontrolou. Japonci snahu statistické řízení procesů rozšířili i na další oblasti činnosti podniků, včetně předvýrobních etap. Zrodil se tak základ skutečných moderních systémů jakosti, označovaný jako Company Wide Quality Control (CWQC). Dalším propracováváním tohoto přístupu došlo k prvním pokusům o totální management jakosti (TQM), který představuje i v současnosti dynamicky se vyvíjející koncepci.

V roce 1987 vstoupily na scénu jakosti normy ISO řady 9000, které se snažily o rozsáhlou dokumentaci všech podnikových procesů. V současné době se ve světovém měřítku vykrystalizovaly tři základní koncepce managementu jakosti:

- koncepce podnikových standardů
- koncepce ISO
- koncepce TQM

Koncepce podnikových standardů

Požadavky na potřebu vytváření systému jakosti byly zaznamenány do norem, které měli platnost v rámci jednotlivých firem. Tyto podnikové standarty byly náročné na požadavky definované normami ISO řady 9000. Nejsou také východiskem pro malé firmy a organizace poskytující služby.

Koncepce ISO

Normy zabývající se výhradně požadavky na systém – systém jakosti. Tyto normy mají univerzální charakter, jsou aplikovatelné jak ve výrobních podnicích tak i v podnicích služeb, bez ohledu na jejich velikost. Normy ISO jsou nezávazné ale doporučující. Jsou souborem minimálních požadavků, které by měli být ve firmách implementovány.

Koncepce TQM

Koncepce TQM není nijak svázána s normami a předpisy jako např. koncepce ISO, ale je otevřeným systémem absorbující všechno pozitivní, co může být dobré pro rozvoj podniku. Filosofí je, že komu odevzdáváme výsledky své práce, ten je chápán jako zákazník. Za motor veškerých pozitivních změn jsou považovány procesy neustálého zlepšování, tj. dosahování nové, dosud nedosažené úrovně.

Benchmarking jako součást managementu jakosti

Je nejčastěji definován jako soustavný proces poměrování výrobků, služeb, postupů a metod s nejvýznamějšími konkurenty na trhu, resp. s těmi podniky které mají v dané oblasti vedoucí postavení, za účelem stanovení cílů dalšího zlepšování.

2.3 Vybrané metody managementu jakosti

2.3.1 Metoda SPC

Metoda SPC (Statistical process control) představuje preventivní nástroj řízení jakosti, neboť na základě včasného odhalování významných odchylek v procesu od předem stanovené úrovně umožňuje realizovat zásahy do procesu s cílem udržovat jej dlouhodobě na přípustné a stabilní úrovni, popř. umožnit proces zlepšovat.

2.3.2 Metoda QFD

Metoda QFD (Quality Funktion Deployment) je vhodnou metodou plánování jakosti. Nachází uplatnění při plánování výrobků, kdy se požadavky zákazníků převádějí do vlastností výrobků, při plánování dílů, kdy se vlastnosti výrobků převádějí do vlastností dílů, při plánování procesů kdy se vlastnosti dílů převádějí do parametrů procesů a při plánování výroby, kdy se parametry procesů převádějí do výrobní dokumentace. Výhody spojené s používáním metody QFD lze obecně shrnout do následujících bodů (15):

- méně konstrukčních a technologických změn
- zkrácení doby vývoje
- méně problémů při rozběhu výroby
- nižší náklady na výrobu nových výrobků
- méně problémů v distribuční síti
- orientace na zákazníka

K těmto základním výhodám dále patří lepší komunikace mezi odbornými útvary, lepší vzájemná informovanost, lepší pochopení požadavků zákazníků a lepší průzkum trhu apod.(15) Pro jednoduché znázornění vzájemných vztahů tato metoda využívá principu maticových diagramů. Pomocí řady maticových diagramů (matice matic) se zpracovávají informace vyjadřující různé aspekty návrhu výrobku či jeho dílů nebo procesu.

2.3.3 Hodnotová analýza

Je to důležitý nástroj k dosahování požadované jakosti a představuje moderní koncepci řízení inovací. Hodnotová analýza je stejně jako TQM založena na systémovém přístupu, principu plánovitosti, tvořivé činnosti a týmové práce. Rozdíl je v tom, že TQM se prioritně zaměřuje na zlepšování jakosti, hodnotová analýza prioritně na dosažení efektivnosti systému.

Hodnotovou analýzu lze definovat jako účelně sestavený soubor metod, jehož smyslem je hledání a navrhování zlepšeného řešení funkcí analyzovaného objektu s cílem zvýšit jeho efektivnost. Hlavním principem hodnotové analýzy je funkčně nákladový přístup, který vychází ze skutečnosti, že předpokladem konkurenceschopné a komerčně úspěšné produkce je dosažení optimální funkčnosti výrobku neboli optimální spokojenost zákazníka. s výrobkem při co nejmenších nákladech na jeho vyrobení a užívání. Hodnotovou analýzu charakterizují tyto základní rysy(15):

- analyzovaný objekt je charakterizován jako soubor funkcí, kterými se v určité míře a s určitou ekonomickou náročností plní vymezené potřeby
- funkce jsou hodnoceny z hlediska významu, nákladů a stupně plnění,
- kritériem efektivnosti řešení je poměr mezi mírou uspokojení potřeby a náklady na její dosažení

Hodnotová analýza se provádí v sedmi etapách:

- výběr objektu,
- sběr informací,
- funkční analýza,
- tvorba námětů,
- zpracování a hodnocení návrhů (variant řešení),
- projekt optimální varianty,
- projednání a schválení projektu.

2.3.4 Přezkoumání návrhu (Design Review)

Důležitou metodou uplatňování koncepce včasné výstrahy v předvýrobních etapách je přezkoumání návrhu s cílem vyhodnotit jeho způsobilost plnit požadavky na jakost, identifikovat problémy, pokud existují a navrhnout postup řešení. Mělo by identifikovat a předvídat problémové oblasti a iniciovat nápravná a preventivní opatření s cílem zajistit, aby konečný návrh splnil požadavky zákazníka.

Přezkoumání návrhu je plánovanou činností, jeho průběh by měl mít pevný řád, v rámci kterého se formou otázek a odpovědí návrh analyzuje z různých odborných hledisek. O průběhu přezkoumání návrhu se zpracovává zápis, ve kterém by měli být zaznamenány důležité otázky a odpovědi, zjištěné problémy k řešení a navrhovaná doporučení. Doporučené prvky k přezkoumání návrhu:

- Prvky, které se vztahují k potřebám a spokojenosti zákazníka.
- Prvky, které se týkají specifikace výrobku.
- Prvky, které se týkají specifikace procesů.

2.3.5 Metoda FMEA

Metoda FMEA (Failure Mode and Effekt Analysis) se řadí k základním preventivním metodám managementu jakosti a je důležitou součástí přezkoumání návrhu. Je založena na týmové analýze možnosti vzniku vad u posuzovaného návrhu, ohodnocení jejich rizika a návrhu a realizaci preventivních opatření vedoucích ke zlepšení jakosti návrhu. Původně byla určena k zjištění spolehlivosti analýzy složitých systému v kosmickém výzkumu.

Požívání metody FMEA představuje systémový přístup k prevenci nejakosti, který vede ke snížení ztrát vyvolaných nízkou úrovní jakosti výrobků, ke zkrácení doby řešení vývojových prací, ke snížení počtu změn ve fázi realizace a k účelnému využívání zdrojů. Výsledky aplikace této metody vytvářejí velice cennou informační databázi o výrobku, využitelnou pro podobné výrobky. Každá analýza FMEA probíhá ve čtyřech etapách:

- analýza současného stavu
- hodnocení současného stavu
- návrh preventivních opatření
- hodnocení stavu po provedení preventivních opatření.

2.3.6 Plánování experimentů

Předmětem plánování experimentů je nalezení optimálních hodnot, jež jsou součástí procesu a určit při kterých hodnotách je proces nejméně nákladný. Experimentovat ve smyslu této metody je měnit obvyklé pracovní podmínky s cílem nalézt nejlepší pracovní postupy a současně získat hlubší poznatky o vlastnostech výrobku a výrobního procesu. Experimentální postupy dělíme na:

- experimenty neplánované (tedy nahodilé, živelné)
- experimenty plánované

Plánovaný experiment se řídí předem vypracovaným plánem experimentu, který stanovuje počet pokusů, z kterých experiment sestává, podmínky za kterých se jednotlivé pokusy uskuteční a pořadí pokusů, které by mělo být náhodné. Pojem pokus v této metodě má význam jako zjištění hodnoty ukazatele kvality za určitých, předem plánovaných podmínek výroby a experiment tj. systém všech pokusů. Označíme-li sledovaný ukazatel kvality Y a faktory, které tuto kvalitu ovlivňují A, B, \dots se mohou pohybovat na různých úrovních, pak cílem plánování experimentu je:

- rozhodnout, které z faktorů A, B, \dots jsou významné
- nalézt takovou kombinaci úrovní faktorů A, B, \dots pro kterou je optimální ukazatel Y a to i při působení nežádoucích rušivých vlivů.

2.4 Výběr nejvhodnější metody

Výše uvedené metody k zabezpečování jakosti jsou určeny jednak:

- jako vhodné metody k plánování jakosti v etapě příprav výroby
- jako důležitý nástroj při moderní koncepci řízení inovace
- včasné výstrahy v předvýrobních etapách
- plánování hodnot při kterých je proces nejméně nákladný
- analýze možnosti vzniku vad, hodnocení jejich možnosti rizika apod.

Z toho všeho vyplývá, že nejvhodnější metodou k řešení daného problému je metoda SPC. V našem případě se totiž nejedná o nový výrobek, který není potřeba inovovat, analyzovat nákladnost výrobního procesu apod. Tato diplomová práce má navrhnout řešení, při kterém by se snížila relativně vysoká zmetkovitost dané součástky, která je již ve výrobě. Je velký předpoklad, že aplikace metody SPC vyřeší přímo jednotlivé problémy, které jsou při výrobě této součástky s tím, že by se mohla podstatně snížit zmetkovitost.

Tato metoda je:

- nenáročná jak na čas, tak i na vysokou kvalifikaci pracovníka
- velice rychle poskytuje základní informace o právě probíhajícím procesu
- je snadno použitelná k ověřování způsobilosti strojů i procesu
- umožňuje pro vyhodnocování naměřených dat používat nenáročných softwarových programů (MS EXCEL)
- umožňuje ruční sběr dat bez použití drahých systému pro sběr dat
- umožňuje snadnou archivaci dat v podobě karet
- snadná dohledatelnost karet s naměřenými hodnotami

3 Teoretická východiska metody SPC

Teorie statistické regulace procesu vychází z existence variability – proměnlivosti, jako vnitřní vlastnosti každého procesu. I za relativně stálých, např. výrobních podmínek působí na proces a jeho výstupy řada vlivů, které tuto variabilitu vyvolávají. Proto nelze vyprodukovat dva úplně totožné produkty. Je však možné studovat vlivy způsobující variabilitu a vytvářet podmínky, aby se variabilita procesu pohybovala ve svých přirozených mezích, byla stabilní a aby bylo možné na základě znalostí těchto mezí variability předvídat chování procesu i v budoucnu. (8). Snížení variability procesu pak znamená:

- stejnoměrnější výrobu
- menší pravděpodobnost výskytu neshodných produktů – zmetků
- menší rozsah kontroly a menší náklady na kontrolu a zkoušení
- nižší náklady spojené s poruchami procesu, produkování odpadů
- více spokojených zákazníků.

Princip SPC vychází z členění variability na dva druhy: variabilitu vyvolanou náhodnými (přirozenými) příčinami a variabilitu vyvolanou příčinami vymezitelnými (identifikovatelnými). (10).

Náhodné příčiny variability

Náhodné příčiny variability jsou v procesu obsaženy, je jich značné množství, ale co je důležité, každý sám působí v malém rozsahu, nepřevažuje nad ostatními vlivy (např. kolísání teploty chladicí kapaliny při obrábění, chvění stroje, vlhkost ovzduší, nestejnorodost materiálu apod.). Vlivem těchto příčin mají proces a jeho parametry stabilní rozdělení pravděpodobnosti, tzn. že můžeme jeho parametry matematickým aparátem odhadnout a též předvídat chování procesu. To umožňuje proces regulovat a udržovat úroveň jakosti na požadované hladině.

Vymezitelné příčiny variability

Vymezitelné příčiny variability představují oblast vlivu zdrojů variability, které za běžných podmínek na proces nepůsobí. Vyvolávají skutečné změny v procesu, projevují se v nepřírozeném kolísání údajů, pomocí níž variabilitu hodnotíme. Působí-li na proces tyto příčiny, potom je možno konstatovat, že

- proces není reprodukovatelný a jakost jeho výstupů není předvídatelná
- proces není statisticky stabilní, tzn. že typ a parametry rozdělení znaku jakosti nebo parametry procesu, pomocí níž variabilitu hodnotíme, se v čase mění.

Vymezitelné příčiny variability procesu se dále člení na dvě skupiny:

Příčiny sporadické, vznikají náhle a vyvolávají změnu procesu jen na krátkou dobu. Pak se ztrácejí a v budoucnu se mohou objevit znovu. Změny procesu, vyvolané těmito příčinami bývají větší.

Příčina přetrvávající vyvolává určitou dobu trvání odchylky v parametrech rozdělení regulované veličiny, pomocí níž sledujeme a hodnotíme chování procesu (např. poškození nástroje, změna materiálu apod.)

Odstranění vlivu těchto příčin vyžaduje obvykle pouze lokální zásah obsluhy stroje. Vlivy systematické (vymezitelné) se většinou zjišťují prostředky technické kontroly, vlivy náhodné většinou statistickou kontrolou jakosti.

Závěrem je možné konstatovat, že chceme-li provozovat neustálé zlepšování procesu, pak je nutné stále sledovat chování procesu s cílem dosáhnout a udržovat statisticky zvládnutelný stav cestou zjišťování a odstraňování třeba i částečné působení vymezitelných příčin. Je-li toto splněno, potom můžeme konstatovat, že chování procesu a jakost jeho výstupů jsou předvídatelné a je možno snižovat přirozenou variabilitu procesu, vyvolávanou působením náhodných příčin. Proto je dobré vzít nahodilost výstupů jako fakt a řízení založit na principech matematické statistiky.

3.1 Základní pojmy matematické statistiky

Náhodná proměnná značící se X, Y, \dots , je hodnota znaku, kterou nabývá nahodile a to v závislosti na výsledku pokusu. (8). Náhodná proměnná může dle oboru hodnot nabývat hodnoty spojité, které v daném intervalu mohou nabývat libovolných reálných hodnot a hodnoty nespojité (diskrétní), které mohou nabývat pouze jednotlivých (diskrétních) hodnot. V statistické praxi to jsou obvykle hodnoty, které vznikly spočítáním – hodnoty spočetné. (8). Prostředkem pro popis rozdělení náhodné veličiny X je realizace její distribuční funkce $F(x)$ a hustoty pravděpodobnosti $f(x)$ u spojité náhodné veličiny, u nespojitých náhodných veličin také funkce distribuční $F(x)$ a funkce pravděpodobnostní $P(x)$.

Zákon rozdělení nespojité náhodné veličiny lze určit pravděpodobnostní funkcí $P(x)$, která ke každému reálnému číslu x ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) přiřazuje hodnotu s odpovídající pravděpodobností ($p(x_1), p(x_2), p(x_3), \dots, p(x_n)$). Pravděpodobnostní funkce je definována vztahem (8):

$$P(X = x) = p(x) \quad (1)$$

Je to funkce nezáporná. Vlastnosti pravděpodobnostní funkce je možno vyjádřit vztahy:

$$\sum_x p(x) = 1 \text{ a } p(x) \geq 0 \quad (2)$$

tzn. že součet všech pravděpodobností jednotlivých hodnot x je roven jedné a pravděpodobnost jednotlivých hodnot x je větší nebo maximálně rovna nule.

K popisu spojité náhodné proměnné normálního rozdělení používá tzv. distribuční funkce, kterou nelze jednoduše vyjádřit a proto pro stanovení jejich hodnot se používá tabulek.(5). Distribuční funkce $F(x)$ přiřazuje každé reálné hodnotě x pravděpodobnost, že náhodná veličina X nabude hodnoty menší než x . (8). Je definována rovnicí

$$P(X < x) = F(x) \quad (3)$$

tj. s jakou pravděpodobností je hodnota funkce X menší než hodnota funkce $F(x)$. Vlastnost distribuční funkce je možno vyjádřit vztahy:

$$1. 0 \leq F(x) \leq 1 \quad 2. P(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1) \quad (4)$$

- ad1. distribuční funkce $F(x)$ nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$,
- ad2. pravděpodobnost, že hodnota funkce X nabude hodnot z intervalu $\langle x_1, x_2 \rangle$ je rovna rozdílu distribuční funkce $F(x)$ v bodech x_1 a x_2 .(9)

Rozdělení spojitě náhodné veličiny X je možno popsat tzv. hustotou pravděpodobnosti $f(x)$, kterou lze převést integrací na distribuční funkci $F(x)$ a naopak, derivací distribuční funkce dostaneme hustotu pravděpodobnosti takže platí: (5):

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx \text{ pro } f(x) \geq 0 \quad (5)$$

a naopak

$$f(x) = F'(x) \quad (6)$$

Hustota pravděpodobnosti stejně jako pravděpodobnostní funkce je nezáporná a splňuje vztah

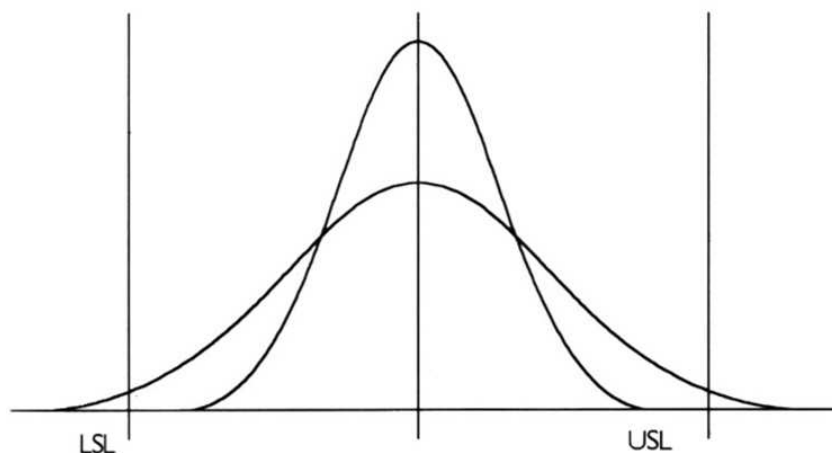
$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \quad (7)$$

a pravděpodobnost, že náhodná veličina X nabude hodnoty z nějakého intervalu je dána vztahem:

$$P(x_1 \leq X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx \quad (8)$$

Některé tvary funkcí se vyskytují v praktických aplikacích tak často, že jsou speciálně pojmenovány a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulkách. Mezi ně patří a má zvláštní postavení tzv. normální rozdělení, pro něž náhodná veličina má normální rozdělení označované $N(\mu, \sigma^2)$, pak hustota pravděpodobnosti $f(x)$ má tvar daný vztahem: (9)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (9)$$



obr. 1 Tvar Gaussovy křivky (Tošenovský, 1996)

Grafem této funkce je tzv. Gaussova křivka. Normální rozdělení je jednoznačně určeno parametry μ a σ , což jsou střední hodnota a směrodatná odchylka. Distribuční funkce je značena $\Phi(x)$, resp. $F(x)$. Vztah mezi $F(x)$ a $\Phi(x)$ je vyjádřen rovnicí:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (10)$$

Za předpokladu, že $\mu = 0$ a $\sigma = 1$ dostáváme rozdělení $N(0,1)$, které se nazývá normované normální rozdělení.

Veličina, která je předmětem statistického sledování se nazývá znak. Hodnoty, kterých může nabývat tvoří základní statistický soubor dat. Jestliže z tohoto základního statistického souboru dat vybereme náhodným výběrem určitý počet prvků, pak to znamená, že všechny takto vybrané prvky mají stejnou pravděpodobnost výběru. Tím získáme tzv. výběrový statistický soubor. Náhodným výběrem prvků je zaručeno, že výběrový soubor je dostatečně reprezentativní. Hodnota některých vybraných prvků x_i může být stejná. Potom počet prvků n_i tvoří skupinu se stejnou hodnotou kterou nazýváme četnost znaku x_i . Vedle četnosti se zavádí ještě tzv. kumulativní četnost F_i , daná postupným součtem jednotlivých četností n_i jejichž součet nepřevyšuje celkový počet prvků ve výběrovém statistickém souboru.

Relativní četnost $\frac{n_i}{n}$ je poměr četností n_i k celkovému počtu prvků normálního rozdělení n . Relativní kumulativní četnost $\frac{F_i}{n}$ je poměr kumulativní četnosti k celkovému počtu prvků normálního rozdělení.

Zpracováním dat ze základního statistického souboru znamená výpočet tzv. číselných charakteristik, což jsou čísla popisující nejzávažnější vlastnosti tohoto souboru. Hodnoty reprezentující celý soubor jsou tzv. charakteristiky polohy, z nich nejznámější je aritmetický průměr, který je dán vztahem:

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (11)$$

kde: x_j hodnota prvku v souboru dat
 n celkový počet prvků v souboru

Je-li soubor rozdělen na skupiny se stejnou četností, potom pro aritmetický průměr je dán vztahem:

$$\mu = \frac{\sum_i x_i \cdot n_i}{n} \quad (12)$$

kde: x_i hodnota prvku v skupině
 n_i počet stejných hodnot ve skupině (četnost x_i)

Nejrozšířenější charakteristikou variability je rozptyl, který vyjadřuje rozptýlenost hodnot kolem průměru μ a je dán pro základní statistický soubor vztahem:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (x_j - \mu)^2 \quad (13)$$

kde: x_j hodnota prvku v souboru
 n celkový počet prvků v souboru

Je-li soubor rozdělen na skupiny se stejnou četností, potom rozptyl je dán vztahem:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^2 . n_i \quad (14)$$

kde: x_i hodnota prvku ve skupině
 n_i celkový počet prvků ve skupině
 n celkový počet prvků v souboru

směrodatná odchylka σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^2 . n} \quad (15)$$

Je-li soubor rozdělen na skupiny se stejnou četností, potom směrodatná odchylka dána vztahem:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^2 . n_i} \quad (16)$$

variační rozpětí je dáno vztahem R:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (17)$$

Velkou nevýhodou rozpětí R je jeho značná nespolehlivost vzhledem k tomu, že je počítán z x_{\max} a x_{\min} , které jsou často odlehlými hodnotami. Přesto se jich používá např. při konstrukci regulačních diagramů a variační koeficient V:

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (18)$$

Charakteristiky asymetrie a špičatosti jsou definovány těmito základními vzorci: asymetrie (Skewness – sk):

$$As = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \quad (19)$$

špičatost (exces, Kurtosis - Ku):

$$Ex = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^4}{\sigma^4} \quad (20)$$

Protože charakteristiky počítané z celého základního souboru nejsou shodné s charakteristikami počítanými z výběrového souboru, odlišují se také v použité symbolice, kdy charakteristiky ze základního souboru jsou značeny řeckými písmeny, charakteristiky z výběrového souboru jsou značeny odpovídajícími latinskými písmeny (kromě aritmetického průměru \bar{x}). Výběrové charakteristiky jsou výchozím materiálem při odhadu charakteristik základního souboru dat. Označíme-li výběrový soubor $X = x_1, x_2, \dots, x_n$, potom aritmetický výběrový průměr je dán vztahem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (21)$$

výběrová směrodatná odchylka s je dán vztahem:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (22)$$

výběrový rozptyl s^2 :

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (23)$$

Rozptyl je při posuzování kvality základní charakteristikou, která se používá samostatně, nebo i jako součást jiných, komplikovaných vzorců. Může být počítán vzhledem k mediánu M , pak je dán pro výběrový soubor dat vztahem:

$$s_M^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - M)^2 \quad (24)$$

nebo k hodnotě, která je považována za cílovou, tedy hodnotu optimální (target value)

T :

$$s_T^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - T)^2 \quad (25)$$

Nevýhodou rozptylu je, že velikost závisí na jednotkách se kterými se pracuje, takže ze samotného rozptylu nelze určit, zda je „velký“ nebo „malý“. Proto má smysl hodnotit rozptyl jen je-li k dispozici jiný rozptyl pro porovnání. Ten však musí být ve stejných jednotkách. (13). Pokud není, počítá se tzv. variační koeficient, který je dán podílem směrodatné odchylky a průměru,

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (26)$$

který je bezrozměrný a navíc existuje empirický poznatek, že pro

$$100 \cdot V \geq 50 \quad (27)$$

je rozptyl považován za velký a výběrový variační koeficient V :

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \quad (28)$$

3.3 Odhad číselných charakteristik

Protože základní soubor je v převážné míře nedostupný, neznáme jeho číselné charakteristiky ani parametry distribuční a frekvenční funkce, provádíme jejich odhad. Výchozím materiálem při výpočtu parametrů základního souboru jsou výběrové soubory. Na základě nich se snažíme odhadem přiblížit parametrům souboru základního. Pokud odhad neznámého parametru provádíme jedním číslem, potom hovoříme o odhadu bodovém, nebo se stanoví interval, který obsahuje neznámý parametr s danou pravděpodobností – to je tzv. odhad intervalový. U bodového odhadu se předpokládá, že splňuje následující požadavky: (13).

- nestrannost hodnoty odhadu: tzn. že přestože odhad není shodný se základní charakteristikou, pohybují se odhady v jejím okolí
- konzistence: s rostoucím rozsahem výběrového souboru se odhad výběrové charakteristiky přibližuje charakteristikám základnímu souboru
- vydatnost: tzn. že odhad parametru ze základního souboru má mít nejmenší rozptyl.

Bodový odhad základních charakteristik μ a σ^2 se označuje $\hat{\mu}$ a $\hat{\sigma}^2$ a počítá se dle následujících vztahů:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum x_j, \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_j - \bar{x})^2 \quad (29)$$

kde: x_j hodnota prvku ve výběrovém souboru dat
 \bar{x} aritmetický průměr výběrového souboru dat
 n počet prvků ve výběrovém souboru

Při bodových odhadech se můžeme někdy dopustit i značně velké chyby. Tato okolnost vede k tomu, že se v praxi často dává přednost odhadům intervalovým. Při nich se charakteristika základního souboru odhaduje prostřednictvím určitého intervalu. Tento interval se zpravidla realizuje pomocí bodového odhadu charakteristiky základního souboru a směrodatné odchylky tohoto odhadu, tj. opět na základě údajů získaných náhodným výběrem. Může se stát, že hodnota odhadované veličiny bude mimo tento interval, tzn., že intervalový odhad bude chybný. Proto k danému intervalu uvádíme pravděpodobnost, s níž lze očekávat, že odhad bude správný. Tuto pravděpodobnost nazýváme spolehlivostí odhadu a značíme $1-\alpha$. Interval, v němž s pravděpodobností $1-\alpha$ očekáváme charakteristiku základního souboru, nazýváme pak $100(1-\alpha)\%$ interval spolehlivosti. Pro intervalový odhad těchto parametrů základního souboru se nalezne interval $\langle \beta_1, \beta_2 \rangle$ o němž se předpokládá, jak výše uvedeno, že s pravděpodobností $1-\alpha$ obsahuje odhadový parametr. Tedy interval $\langle \beta_1, \beta_2 \rangle$ se nazývá intervalový odhad parametru β o spolehlivosti $1-\alpha$ a je dán obecným vztahem:

$$P(\beta_1 \leq \beta \leq \beta_2) = 1-\alpha \quad (30)$$

kde: α je hladina významnosti (volí se nejčastěji 0,05, 0,01, 0,1)
 $1 - \alpha$...se nazývá stupeň spolehlivosti.

U intervalového odhadu parametrů μ a σ^2 normálního rozdělení rozlišujeme, zda je či není známo μ při odhadu $\hat{\sigma}^2$ a σ^2 při odhadu $\hat{\mu}$, (6). Interval spolehlivosti pro parametr $\hat{\sigma}^2$ v případě, že μ není známo, pak pro jeho intervalový odhad platí :

$$P \left[\frac{(n-1).S^2}{\chi_{n-1}^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1).S^2}{\chi_{n-1}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right)} \right] = 1 - \alpha \quad (31)$$

kde: nrozsah výběrového souboru

α zvolená hladina významnosti

a za S^2 dosadíme následující vztah (6)

$$S^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_i (x_i - \bar{x})^2 \quad (32)$$

Hodnoty $\chi_{n-1}^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)$, $\chi_{n-1}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right)$ se určí z tabulek kritických hodnot rozdělení

chí-kvadrát pro n-1 stupeň volnosti (příloha č. 1).

Interval spolehlivosti pro parametr $\hat{\sigma}^2$ v případě, že μ je známo, pak pro jeho intervalový odhad platí :

$$P \left[\frac{n.S^2}{\chi_n^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \leq \sigma^2 \leq \frac{n.S^2}{\chi_n^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right)} \right] = 1 - \alpha \quad (33)$$

za S^2 dosadíme následující vztah, (6)

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_i (x_i - \mu)^2 \quad (34)$$

takže v intervalu

$$\left\langle \frac{n.S^2}{\chi_n^2(\alpha/2)}; \frac{n.S^2}{\chi_n^2(1-\alpha/2)} \right\rangle \quad (35)$$

se nachází parametr σ^2 s pravděpodobností $1 - \alpha$.

Interval spolehlivosti pro parametr $\hat{\mu}$ v případě, že σ^2 není známo, pak pro jeho intervalový odhad platí :

$$P\left[\bar{x} - \frac{t_{n-1}(\alpha).S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{t_{n-1}(\alpha).S}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha \quad (36)$$

Interval spolehlivosti pro parametr $\hat{\mu}$ v případě, že σ^2 je známo, pak pro jeho intervalový odhad platí :

$$P\left[\bar{x} - \frac{u(\alpha/2).\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{u(\alpha/2).\sigma}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha \quad (37)$$

Takže v intervalu

$$\left\langle \bar{x} - \frac{\mu(\alpha/2)}{\sqrt{n}}; \bar{x} + \frac{\mu(\alpha/2)}{\sqrt{n}} \right\rangle \quad (38)$$

se nachází parametr μ s pravděpodobností $1 - \alpha$, kde je parametr μ s pravděpodobností $1 - \alpha$ a kde $t_{n-1}(\alpha)$ je kritická hodnota tzv. Studentova rozdělení, které se nalezne v tabulce (příloha č. 2). Pro intervalový odhad rozptylu základního souboru:

$$\sigma^2 \in \left\langle \frac{(n-1).s^2}{\chi_{n-1}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \frac{(n-1).s^2}{\chi_{n-1}^2\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)} \right\rangle \quad (39)$$

Hodnoty $\chi_{n-1}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, $\chi_{n-1}^2\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ se určí z tabulek kritických hodnot rozdělení

chí-kvadrát pro daný stupeň volnosti n.

3.4 Testování statistických hypotéz

Principem testování statistických hypotéz je ověření předpokladů, které si na základě zkušeností či určitých informací utvoříme o neznámé charakteristice základního souboru. Ověřování platnosti daných hypotéz se provádí na základě údajů získaných náhodným výběrem z vyšetřovaného základního souboru. Postup, kterým ověřujeme, zda daná hypotéza platí či nikoli, zda ji přijmeme či zamítneme, je proces, který se nazývá test statistické hypotézy.

Hypotézu, jejíž platnost ověřujeme, nazýváme testovanou (nulovou) a značíme ji H_0 . Proti testované hypotéze stavíme hypotézu, která její platnost popírá (kterou přijmeme, zamítneme-li hypotézu H_0), tzv. alternativní hypotézu a značíme ji H_1 . (13).

Obecný postup při testování:

1. Formulace hypotéz H_0 a H_1 .
2. Určení hladiny významnosti.
3. Výpočet testovacího kritéria T .
4. Nalezení kritické hodnoty K .
5. Porovnání T a K , přijetí nebo zamítnutí hypotézy H_0 .

Při testování statistických hypotéz je nutné mít na zřeteli, že když hodnota testového kritéria vypočítaná z výběrových dat padne do kritického oboru, zamítáme testovanou hypotézu H_0 a přijímáme alternativní hypotézu H_1 , padne-li hodnota testového kritéria do oboru přijetí, testovanou hypotézu nezamítáme. Jestliže zamítáme hypotézu H_0 , ačkoliv ve skutečnosti platí, pak se dopouštíme chyby I. druhu. Velikost rizika, že se dopouštíme chyby I. druhu nám udává tzv. hladina významnosti α , kterou volíme před provedením testu. Volíme ji dostatečně nízkou, nejčastěji $\alpha=0,05$ a pak mluvíme o testu na 5% hladině významnosti.

K nejčastěji užívaným testům hypotéz patří testy, týkající se charakteristik základního souboru. Uveden bude test hypotézy o střední hodnotě (průměru) základního souboru z náhodného výběru z rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, který bude praktikován při dalším výpočtu.(6).

ad1) Formulace hypotéz: $H_0 : \mu = \mu_0, H_1 : \mu \neq \mu_0$

ad2) Určení hladiny významnosti: $\alpha = 0,05$

ad3) Výpočet testovacího kritéria: $T = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n}$

ad4) Nalezení kritické hodnoty: $K = t_{n-1}(\alpha)$

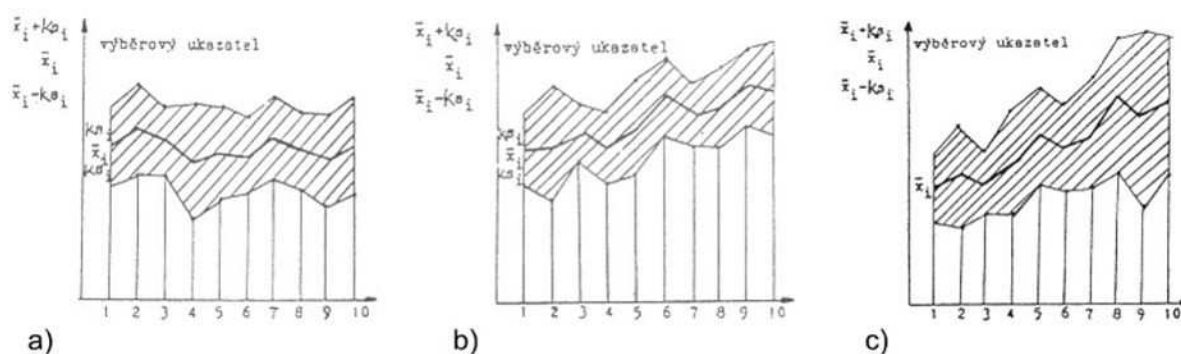
ad5) Porovnání T a K : Pro $|T| > t_{n-1}(\alpha)$ se zamítá H_0 .

3.5 Prostředky pro posouzení přesnosti výrobního zařízení a jeho nastavení

Před způsobilostí celého technologického procesu, by měla probíhat, jak výše uvedeno, nejprve analýza způsobilosti vlastního výrobního zařízení protože je nutné nejprve zjistit, zda výrobní zařízení je schopno vyrábět s požadovanou výrobní přesností. I v tomto případě je nutné zajistit, aby výroba na tomto zařízení probíhala ve stabilních podmínkách, tj. aby i zde působily jen náhodné vlivy. Pomocí regulačních diagramů musíme zjistit, zda tato část celkového procesu je ve staticky zvládnutém stavu. V případě, že tato podmínka je splněna, pak teprve nyní je možno počítat indexy způsobilosti pro výrobní zařízení.

Časové sledování změn hodnot obou parametrů μ a σ a porovnávání jejich hodnot s tolerancemi a tolerančními mezemi je podstata statistické analýzy výrobního procesu. Nástrojem tohoto rozboru je tzv. diagram přesnosti (7), který čerpá ze souboru 200 až 300 údajů naměřených chronologicky za sebou. Tento soubor naměřených dat se rozdělí na stejně velké skupiny po 20 až 30 členech. V každé skupině se určí aritmetický průměr \bar{x} a výběrová směrodatná odchylka s . Do grafu se na svislou osu vynášejí vypočtené hodnoty \bar{x}_i a hodnoty $\bar{x}_i - ks_i; \bar{x}_i + ks_i$, jednotlivých skupin ($i = 1$ až 10, příp. 15).

Spojnice hodnot \bar{x} jednotlivých skupin určuje vývoj střední hodnoty μ a mění se šířka pásma ohraničeného čarami $\bar{x}_i - ks_i; \bar{x}_i + ks_i$ vyjadřuje průběh vývoje parametru σ , kde konstanta $k = 3$ je dána normou ČSN ISO 8258. Křivky sestavené z vypočtených hodnot v diagramech přesnosti mají nejčastěji 3 typy průběhů. (obr. 2). Jestliže během výrobního procesu nepůsobí žádné systematické vlivy, které by měnili nastavení a přesnost výrobního zařízení, tak čára \bar{x}_i kolísá jen v určitých mezích a zachovává celkem rovnoběžnost s osou x a taktéž se šířka pásma $(\bar{x}_i \pm ks_i)$ významně nemění (obr. 2a). Další průběh závislosti v diagramu přesnosti je, když systematické vlivy ovlivňují nastavení střední hodnoty μ , ale přesnost zůstává nezměněna, potom křivka \bar{x} mění rovnoběžnost s osou x , ale šířka pásma je stejná (obr. 2b). Nejnejpříznivější případ je třetí průběh v diagramu přesnosti, kde působením systematických vlivů se mění nejen přesnost, ale také se zvětšuje šířka pásma (obr. 2c).



obr. 2 Nejčastější tvary diagramu přesnosti (Kožíšek, 1995)

Schopnost výrobního zařízení dodržet předepsanou toleranci se projeví jako způsobilost výrobního procesu. K tomu, abychom mohli posoudit přesnost jednotlivých výrobních pochodů daného výrobního zařízení, není možné použít absolutních výsledků z měření ukazatelů jakosti, jako je nastavení μ a přesnost σ , ale je vhodné užít poměrných ukazatelů. V současné době se prakticky výhradně používá k posuzování způsobilosti výrobního procesu charakteristik, které se nazývají indexy způsobilosti. Existuje mnoho typů indexů způsobilosti které se liší způsobem výpočtu, vlastnostmi i podmínkami použitelnosti. Princip jejich konstrukce je však stejný: vždy jde o poměr předepsané přesnosti a skutečně dosahované přesnosti výroby. Předepsaná přesnost je dána tolerancí:

Je-li: USL horní toleranční hranice (Upper Specification Limit)

LSL dolní toleranční hranice (Lower Specification Limit)

T cílová hodnota (Target Value)

pak toleranční interval bude (USL,LSL), jeho délka $USL - LSL$ a střed intervalu MSL je:

$$MSL = \frac{1}{2}(USL + LSL) \quad (41)$$

Specifikace výrobního procesu je určena trojicí hodnot (LSL,T,USL). Skutečně dosahovaná přesnost je vyjádřena rozptylem σ . Dle (7), norma ČSN 01 0265 zavedla pojmy jako:

index přesnosti výrobního zařízení, daný vztahem

$$W = \frac{6\sigma}{T} \quad (42)$$

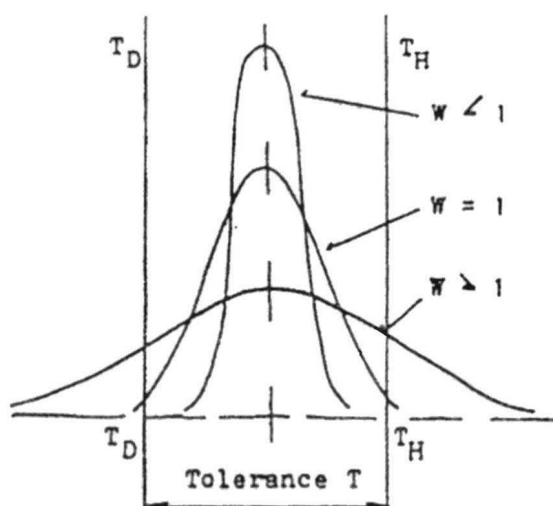
index výrobní přesnosti, daný vztahem

$$W = \frac{2u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma}{T} \quad (43)$$

index přesnosti, daný vztahem

$$W = \frac{4\sigma}{T} \quad (44)$$

Činitel 4σ nebo 6σ znamená, zda se uvažuje že 4,545% hodnot nebo 0,27% hodnot se bude nacházet mimo toleranční meze, případně hodnoty pro $u_{0,025} = 1,96$ ve vzorci (43) při 5% vadných výrobků resp. $u_{0,05} = 2,58$ při 1% vadných výrobků. T je dopředu daná tolerance a σ je směrodatná odchylka vypočtená z dat základního souboru.



obr. 3 Tvar křivky normálního rozdělení v závislosti na velikosti W (Kožíšek, 1995)

Index přesnosti W udává, v jakém vztahu je přesnost výrobního zařízení σ , co by hodnota vypočtená a T tolerance dopředu daná. Podle velikosti W lze usuzovat na schopnost výrobního zařízení dodržovat předepsanou toleranci. Index W budeme hodnotit podle rovnice (42), kde hodnota čitatele je 6σ .

Pokud hodnota indexu $W > 1$, tzn. že $6\sigma > T$ tedy šestinásobek vypočtené hodnoty, charakterizující přesnost dosahovaných výrobků, větší než požadovaná tolerance, není toto výrobní zařízení schopno zajistit předepsanou toleranci ani při nastavení na střed tolerančního pole. Nutně vznikají zmetky. Pokud hodnota indexu $W = 1$, tzn. že $6\sigma = T$, pak jde o stav, kdy výrobní zařízení je schopno dodržet toleranci. Minimální procento zmetků vzniká při nastavení na střed tolerančního pole. Pokud hodnota indexu $W < 1$, tzn. že $6\sigma < T$, pak v tomto případě výrobní zařízení snadno dodrží předepsanou toleranci. Ve skutečnosti i zde mohou vznikat zmetky, ale optimální situace vzniká jen při nastavení na střed tolerančního pole.

3.5.1 Index způsobilosti C_p

Je mírou schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí, porovnává pouze variabilitu a nekontroluje polohu rozdělení v tolerančním poli. Lze ho vypočítat pouze tehdy, jsou-li uvedeny oboustranné toleranční meze a jeho hodnota je dána poměrem dovolené a skutečné variability hodnot a to bez ohledu na jejich umístění v tolerančním poli. Jeho hodnota je dána vztahem:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T_h - T_d}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma} \quad (45)$$

kde: $LSL = T_d$ dolní toleranční mez

$USL = T_h$ horní toleranční mez

T rozsah tolerance

σ směrodatná odchylka

Skutečná variabilita sledovaného znaku jakosti je vyjádřena hodnotou 6σ . Tato hodnota v případě normálního rozdělení vymezuje oblast, v níž s 99,73 % pravděpodobností se nachází všechny hodnoty sledovaného znaku jakosti. Hodnota $C_p = 1$, tedy když $T = 6\sigma$, poskytuje informaci, že pravděpodobnost výskytu neshodných jednotek sledovaného znaku jakosti činí 0,27%.

Této hodnoty je možno dosáhnout za předpokladu, že střední hodnota sledovaného znaku bude ležet ve středu tolerančního pole. Srovnáme-li rovnici (45) s rovnicí (42), vidíme, že index způsobilosti C_p je převrácenou hodnotou indexu přesnosti výrobního zařízení W a naopak.

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{1}{W} \quad (46)$$

Je-li tedy hodnota $T = 6\sigma$, tedy $C_p = 1$, můžeme tedy říci že při $C_p > 1$, bude dle výše uvedeného předpokladu výrobní proces způsobilý. ČSN ISO 8258 navrhuje $C_p = 1,33$. Některé koncerny (např. ZKL a.s. Brno) navrhuji i $C_p = 1,67$ (tj. $T = 10\sigma$). Při $C_p = 1$ je výrobní proces již blízký způsobilosti a při hodnotě $C_p < 1$ je výrobní proces nezpůsobilý. Převrácená hodnota indexu C_p vyjádřená v procentech dává představu o využitelnosti intervalu T . Např. pro $C_p=0,8$ je $100 \cdot \frac{1}{C_p} = 100 \cdot \frac{1}{0,8} = 125$ což znamená, že toleranční interval je využit na 125%, tedy překročen, zatím co pro $C_p=1,67$ je toleranční interval je využit jen na 60%, při $C_p=1$ je toleranční interval využit na 100%.

Hodnota směrodatné odchylky základního souboru σ většinou není k dispozici a tak se σ nahrazuje výběrovou směrodatnou odchylkou s ($s \cong \hat{\sigma}$). Tím místo indexu C_p máme jeho odhad dán vztahem:(6)

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6s} = \frac{T}{6s} \cong \frac{T}{6\hat{\sigma}} \quad (47)$$

Vzhledem k tomu, že s odhadem variability hodnot se pracuje již při hodnocení statistické zvládnutelnosti výrobního procesu pomocí regulačního diagramu, lze směrodatnou odchylku odhadnout i podle následujících vztahů:

Je-li známá hodnota rozpětí v podskupinách \bar{R} potom odhad směrodatné odchylky:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = a_n \bar{R} \quad (48)$$

po dosazení rovnice (48) do rovnice (42) dostáváme vztah pro výpočet indexu přesnosti vyjádřený průměrným rozpětím v jednotlivých podskupinách:

$$W = \frac{6a_n \cdot \bar{R}}{T}, \text{ kde } \bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad (49)$$

Dosažením vztahu daného rovnicí (48) do rovnice (47) dostáváme vztah pro odhad indexu způsobilosti C_p vyjádřený průměrným rozpětím v jednotlivých podskupinách :

$$\hat{C}_p = \frac{T}{6a_n \cdot \bar{R}} \quad (50)$$

kde: \bar{R} průměrné rozpětí v jednotlivých podskupinách

a_n, d_2 ...konstanty závislé na rozsahu podskupin udány v následující tabulce

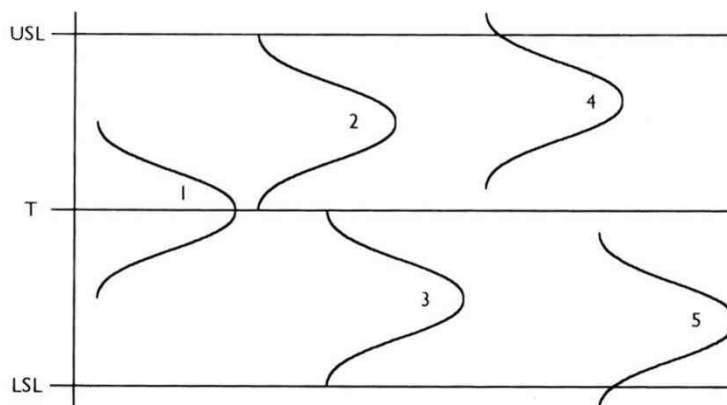
kpočet podskupin

npočet členů v podskupině

Koeficienty a_n jsou uvedeny v následující tabulce, kde $a_n = \frac{1}{d_2}$ (7).

n	a_n	n	a_n	n	a_n	n	a_n	n	a_n
1	-	5	0,4299	9	0,3367	13	0,2998	25	0,2544
2	0,8862	6	0,3946	10	0,3249	14	0,2935	30	0,2448
3	0,2908	7	0,3698	11	0,3152	15	0,2880	35	0,2373
4	0,4857	8	0,3512	12	0,3069	16	0,2677	40	0,2314

Splnění podmínky normality u C_p není jediným problémem spojeným s touto charakteristikou. Specifikace výrobního procesu je dána trojicí hodnot (USL,T,LSL). Z následujícího obrázku je vidět, že C_p splňuje požadavek za předpokladu, že $\mu = T$. Nedostatkem tohoto indexu je, že vůbec neodráží, jak je proces centrován, tedy, jaký je vztah předepsané hodnoty T a průměrné hodnoty μ . Tuto skutečnost je vidět na obr. 4, kde je znázorněno 5 výrobců.



obr. 4 Pět různých výrobců se stejným C_p (Tošenovský, 1996)

- 1. výrobce je nejlepší, neboť vyrábí předepsanou hodnotu T a nepřekračuje toleranci
- 2. a 3. výrobce nikdy nedosahuje hodnoty T, ale alespoň nepřekračuje toleranci
- 4. a 5. výrobce nejenže nedosahuje hodnoty T, ale navíc překračuje toleranci.

Každý výrobce je jiný a přesto je vypočítaný index C_p stejný ve všech případech, neboť délka tolerančního intervalu $USL - LSL$ je stejná pro všechny a směrodatná odchylka s ve jmenovateli vzorce (47) bude také stejná, protože zákonem rozdělení je tatáž Gaussova křivka jen s jinou polohou vrcholu.

3.5.2 Index způsobilosti C_{pk}

Index způsobilosti C_{pk} na rozdíl od indexu C_p zohledňuje jak variabilitu, tak i umístění hodnot sledovaného znaku jakosti v tolerančním poli a charakterizuje tím skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Hodnotu indexu C_{pk} lze na rozdíl od indexu C_p , který si vyžadoval přítomnost obou tolerančních mezí, vypočítat i v případech zadání pouze jednostranných mezí. Pro příslušné výpočty při zadání tolerančních mezí se používají následující vztahy:

1. při předepsané dolní toleranční meze LSL

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (52)$$

2. při předepsané horní toleranční mezi USL

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (53)$$

3. při předepsané dolní a horní toleranční mezi

$$C_{pk} = \min\{C_{pL}; C_{pP}\} \quad (54)$$

kde μ je střední hodnota sledovaného znaku jakosti. Pokud by C_{PU} resp. C_{PL} vycházelo záporné, pokládá se $C_{PK} = 0$.

Pro odhady těchto indexů budou

1. při předepsané dolní toleranční meze LSL

$$\hat{C}_{pL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \quad (55)$$

2. při předepsané horní toleranční mezi USL

$$\hat{C}_{pP} = \frac{USL - \bar{x}}{3s} \quad (56)$$

3. při předepsané dolní a horní toleranční mezi

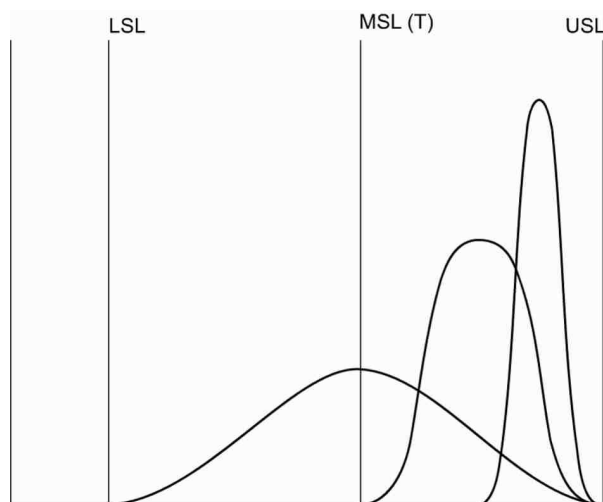
$$\hat{C}_{pk} = \min\{\hat{C}_{pL}; \hat{C}_{pP}\} \quad (57)$$

kde \bar{x} je střední hodnota sledovaného znaku jakosti,

pak tedy výsledné C_{pk} příp. \hat{C}_{pk} je rovno menší hodnotě vypočtených C_{pL} a C_{pK} , příp.

C_{pL} a C_{pK} .

Určitou nevýhodou použití indexu C_{pk} při posuzování zlepšení procesu je to, že změna jeho hodnoty může souviset jak se změnou variability, tak i se změnou polohy procesu v prostoru mezi tolerančními mezemi. To může nastat v případě, kdy neregistrujeme žádnou změnu indexu C_{pk} , ale obě tyto charakteristiky se mohou měnit. Obr. 5. V těchto případech je vhodné uvádět součastně i index C_p .



obr. 5 Tři různé procesy s $C_p = 2$ (Tošenovský, 1996)

3.5.3 Index správnosti nastavení výrobního zařízení U

Dalším vhodným ukazatelem pomocí něhož je možno srovnávat různé výrobní postupy je index správnosti nastavení výrobního zařízení U. (7). Je dán vztahem

$$U = \frac{\mu - T_0}{T} \quad (58)$$

kde: T_0je střed tolerančního pole

T je tolerance

$$T_0 = \frac{1}{2} \cdot (T_h - T_d). \quad (59)$$

Tento index správnosti nastavení výrobního zařízení U určuje, na jakou hodnotu vzhledem k tolerančnímu poli bylo výrobní zařízení nastaveno. Nejvýhodnější situace nastává obvykle při $U = 0$, což znamená nastavení výrobního zařízení na střed tolerančního pole T_0 , kdy $\mu = T_0$. Kladné nebo záporné hodnoty ukazují, v které části dolní nebo horní poloviny tolerančního pole bylo nastavení provedeno. Parametr μ se odhaduje jako aritmetický průměr průměrů jednotlivých skupin, nebo-li střední hodnota sledovaného znaku jakosti (tzv. dílčích průměrů) a je dána vztahem:

$$\mu \approx \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i \quad (60)$$

3.5.4 Index způsobilosti C_{pm}

Posledním indexem způsobilosti je tzv. Taguchiho index způsobilosti C_{pm} . (15). V případě jeho použití se variabilita sledovaného znaku jakosti necharakterizuje rozptylem kolem střední hodnoty, ale rozptylem kolem optimální hodnoty. Tedy vyjadřuje variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti a míru dosažení optimální hodnoty T . Podmínkou je, aby optimální hodnota ležela ve středu tolerančního pole. Definiční rovnice Taguchiho indexu má tvar:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau} \quad (61)$$

kde

$$\tau^2 = \sigma^2 + (\mu - T)^2 \quad (62)$$

Po dosazení se výpočet se provádí podle následujícího vztahu:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (63)$$

kde T – je optimální (cílová) hodnota, která by měla ležet ve středu tolerančního pole, pro níž platí:

$$USL - T = T - LSL$$

V případě, že základní charakteristiky μ a σ nejsou obvykle k dispozici, použijí se jejich odhady \bar{x} a s^2 , takže místo τ získáme odhad $\bar{\tau}$:

$$\bar{\tau}^2 = s^2 + (\bar{x} - T)^2 \quad (64)$$

který po dosazení do rovnice 61 dostáváme pro odhad \hat{C}_{pm} vztah:

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}} \quad (65)$$

V případě, že optimální hodnota neleží ve středu tolerančního pole, nebo je uvedena pouze jedna toleranční mez, pak se zavádí zobecněný index C_{pm}^* , (13) který je definován vztahem:

$$C_{pm}^* = \min(C_{pmL}, C_{pmU}) \quad (66)$$

kde:

$$C_{pmL} = \frac{T - LSL}{3.\bar{\tau}} \quad (67)$$

$$C_{pmU} = \frac{USL - T}{3.\bar{\tau}} \quad (68)$$

$$C_{pm}^* = \min \left(\frac{T - LSL}{3.\bar{\tau}}, \frac{USL - T}{3.\bar{\tau}} \right) \quad (69)$$

po dosazení rovnice (64) do rovnice (69) dostáváme pro odhad indexu C_{pm}^* vztah:

$$\hat{C}_{pm}^* = \min \left\{ \frac{T - LSL}{3.\sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}}; \frac{USL - T}{3.\sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}} \right\} \quad (70)$$

Smyslem zavedení indexu C_{pm}^* je nalézt charakteristiku, která zachytí, na rozdíl od C_{pm} , také necentrální pozici cílové hodnoty T.

3.5.5 Porovnání jednotlivých indexů

Máme-li vybrat nejlepší z výše uvedených indexů způsobilosti, je potřeba nejprve stanovit, co je kritériem jejich kvality. Lze předem konstatovat, že index způsobilosti bude tím lepší, čím méně je podmínek pro jeho použití neboli čím je širší možnost jeho aplikací a čím lepší má statistické vlastnosti. K tomu je potřeba uvažovat o složitosti výpočtu a srozumitelnosti.

Indexy Cp a Cpm

Způsobilost procesu je posuzována podle stavu jeho centrování, tedy schopnosti udržení cílové hodnoty a podle rozptylu kolem ní. Vzhledem k tomu, že index C_p neměří stav centrování procesu, musí být centrování předem zaručeno. Není-li tomu tak, pak je C_p neúplnou charakteristikou. Z porovnání vzorců je vidět vzájemný vztah obou indexů:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \text{ a } C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6.\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (73)$$

Je-li proces centrován, kdy $\mu = T$, pak je $C_{pm} = C_p$. Na základě dosud uvedených poznatků můžeme konstatovat, že index C_{pm} je ve srovnání s C_p lepší z těchto důvodů: (13):

V případě $\mu = T$ je $C_{pm} = C_p$, avšak odhad \hat{C}_{pm} má menší rozptyl a je méně vychýlený než \hat{C}_p jak je patrné ze statistických vlastností obou indexů. (13).

V případě, že $\mu \neq T$ je C_p neúplnou charakteristikou způsobilosti. C_{pm} je komplexnější charakteristikou a má propracovanou metodiku testování včetně konstrukce regulačního diagramu. (13).

Indexy C_{pk} a C_{pm}

Omezující podmínky jsou pro oba indexy stejné: $T = MSL$ - cílová hodnota je ve středu tolerančního intervalu a měření má normální rozdělení. Nevýhodou \hat{C}_{pk} je, že je velmi obtížné obecně stanovit jeho zákon rozdělení pravděpodobnosti. (13). V důsledku toho pak nelze stanovit základní statistické vlastnosti a charakteristiky, stejně tak testovat jeho významnost. Testování významnosti u C_{pm} je možné i bez omezujících podmínek $\mu = T$ (test Boyles)

Výhodou C_{pm} je, že necentralita procesu nemůže být neomezeně kompenzována snižováním rozptylu, jak je to možné u C_{pk} , takže \hat{C}_{pk} není vhodný pro posuzování stavu centrování.

- C_{pm} je zobecněn i pro případ, kdy $T \neq MSL$ a používá se ve tvaru C_{pm}^* .
- C_{pm} lze použít i v případě, že jedna toleranční hranice (USL nebo LSL) je neomezená.
- C_{pm} existují tabulky kritických hodnot, což umožňuje hodnotit významnost této charakteristiky vzhledem k rozsahu měření n.

3.5.6 Vztahy mezi indexy způsobilosti

Pro lepší zhodnocení indexu C_{pm} je vhodné současně použít i index C_p , neboť to umožní posoudit do jaké míry je dosažená hodnota ovlivněna přirozenou variabilitou hodnot a v jaké míře posunem střední hodnoty znaku vůči cílové hodnotě.

V případech, kdy jsou předepsány obě toleranční meze, lze stanovit všechny uváděné indexy způsobilosti, i když každý z nich poskytuje poněkud jinou informaci.(8). Vztahy mezi nimi jsou dány následujícími vztahy:

$$C_{pk} = C_p - \frac{USL + LSL - 2\mu}{6\sigma} \quad (74)$$

z čehož vyplývá, že platí:

$$C_p \geq C_{pk} \quad (75)$$

tedy hodnota indexu způsobilosti C_{pk} je obecně menší a maximálně rovna hodnotě C_p . Rovnosti těchto indexů způsobilosti je dosaženo pouze v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti μ leží právě ve středu tolerančního pole. Mezi indexy způsobilosti C_p a C_{pm} platí nerovnost:

$$C_p \geq C_{pm} \quad (76)$$

a vzájemnou relaci mezi indexy C_{pk} a C_{pm}^* lze vyjádřit vztahem

$$C_{pk} \geq C_{pm}^* \quad (77)$$

přičemž rovnosti je dosaženo v případě, kdy střední hodnota sledovaného znaku jakosti odpovídá cílové hodnotě.

Index způsobilosti C_p je převrácenou hodnotou koeficientu přesnosti W

$$C_p = \frac{1}{W} \quad (78)$$

3.5.7 Robustnost výrobního procesu

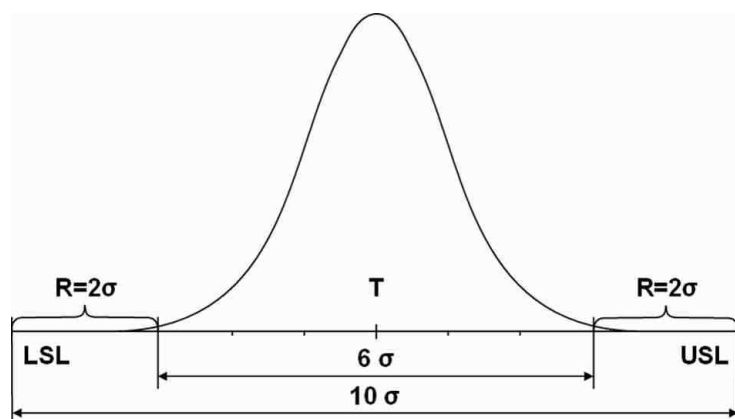
Vedle schopnosti udržet cílovou hodnotu, kdy $\mu = T$ je žádoucí dostatečná rezerva mezi konci Gaussovy křivky a krajními body tolerance. (6). Tento požadavek má velký význam, neboť zhoršení výrobního procesu při dostatečné rezervě nemusí vézt ke zmetkovitosti. Jde např. o nedodržení cílové hodnoty, kdy $\mu \neq T$, nebo zmenšení přesnosti výroby, které se projeví ve zvětšení rozptylu. Uvedená vlastnost výrobního procesu, kdy odchylka od cílové hodnoty, resp. zvětšení rozptylu nezvýší podíl zmetků, se nazývá robustnost výrobního procesu. Míra robustnosti výrobního procesu se vyjadřuje jednoduchým vztahem:

$$R = 3(C_p - 1) \quad (79)$$

kde R je vzdálenost, o kterou by se musel posunout průměr μ od cílové hodnoty T, aby proces byl nezpůsobilý. Tato vzdálenost je pro jednotlivé hodnoty C_p vyjádřena v násobcích σ . Např. pro $C_p = 1,33$ je po dosazení do rovnice (45):

$$\frac{USL - LSL}{6\sigma} = 1,33 \Rightarrow USL - LSL = 1,33 \cdot 6\sigma = 7,98\sigma \approx 8\sigma \quad (80)$$

Délka tolerančního intervalu vyjádřená v násobcích σ je tedy $USL - LSL = 8\sigma$. Robustnost při $C_p = 1,33$ je dle rovnice (79) $R = 3 \cdot (1,33 - 1) = 1$, což znamená, že při délce tolerančního intervalu 8σ , má rozptyl dle obr. (6) k dispozici při $R=1$ na každou stranu mezi konci Gaussovy křivky a krajními body tolerance vzdálenost jednonásobku σ . Takže při posuvu μ od cílové hodnoty T nemusí dojít ještě k nezpůsobilosti procesu. Dle (6) je pro $C_p = 1,67$ délka tolerančního intervalu T dle rovnice (80) $T = 10\sigma$ a hodnota robustnosti procesu je $R=2$, takže na každé straně mezi konci Gaussovy křivky a krajními body tolerance je vzdálenost dvojnásobku σ . Z rovnice (79) je patrná potřeba, aby index způsobilosti C_p byl větší než 1, neboť v případě $C_p = 1$ je robustnost $R=0$, což má za následek, že sebemenší zhoršení vede ihned k nezpůsobilosti procesu.



obr. 6 Robustnost $R=2$ (Tošenovský, 2000)

Z výše uvedeného vyplývá, že v případě že v čitateli rovnice (80) zvětšíme hodnotu z 6σ na hodnotu 8σ , pak podle pravidla 4σ , se zmetkovitost sníží mimo interval z hodnoty 0,27% na hodnotu 0,0052%, což sníží přípustnou zmetkovitost, ale co je důležité při $C_p=1$, kdy $R=0$, se stále využívá celá šíře tolerančního intervalu, z čehož vyplývá, že nedodrží-li se cílová hodnota, zmetkovitost okamžitě stoupá, výrobní způsobilost je nezpůsobilá. Proto se častěji ponechává hodnota 6σ a požaduje se raději větší hodnota C_p , obvykle $C_p=1,33$ resp. 1,67. Toto zvýšení přináší vyšší robustnost:

- pro $C_p=1,33$ je $USL-LSL=8\sigma$, takže $R=1$,
- pro $C_p=1,67$ je $USL-LSL=10\sigma$, takže $R=2$.

Z výše uvedeného vyplývá, že vyšší hodnota indexu způsobilosti:

- snižuje přípustné procento zmetkovitosti
- zvětšuje robustnost procesu
- snižuje pravděpodobnost poruchy zařízení, složeného z mnoha komponent.

3.5.8 Testování indexů způsobilosti

Z rovnic, pomocí níž se vypočítávají indexy způsobilosti vyplývá, že potřebují znát teoretické charakteristiky (σ a μ), které jsou ve většině případů těžko dostupné. Stanovit je lze pouze pomocí odhadů a z toho vyplývá, že vypočtené hodnoty indexů způsobilosti představují rovněž odhady. Tyto náhodné proměnné se řídí zákony pravděpodobnosti, tzn. mají určitou střední hodnotu, disperzi, koeficient asymetrie a špičatosti. Z toho vyplývá skutečnost, že s těmito vypočtenými hodnotami indexů nelze zacházet jako s konstantou, ale jako s odhadem, který má určitý interval spolehlivosti, jehož šířka mimo jiné závisí na počtu zpracovaných údajů. Proto je nutné pro objektivní posouzení dosažení minimální předepsané hodnoty indexu způsobilosti tyto hodnoty testovat.

Testování indexů C_{pm}

Je nutno si uvědomit, že index způsobilosti C_{pm} (resp. C_p , C_{pk}) je teoretická charakteristika, pro jejíž výpočet je nutno znát charakteristiky základního souboru takže je prakticky těžko dostupná a k dispozici je pouze její odhad $\hat{C}_{pm}, (\hat{C}_p, \hat{C}_{pk})$. Přitom ovšem požadavek na dosaženou velikost indexu způsobilosti se týká právě teoretických indexů C_{pm}, C_{pk}, C_p . Je nutno uvést, že odhad není totožný s teoretickou hodnotou. Proto je nutno určit, jakou hodnotu má mít odhad indexu \hat{C}_{pm} aby index C_{pm} byl na požadované úrovni. Kromě rozdílu mezi \hat{C}_{pm} a C_{pm} je potřeba vzít v úvahu, že \hat{C}_{pm} je funkcí počtu měření n , což znamená, že např. pro $n=100$ může být \hat{C}_{pm} významné (proces způsobilý) a pro $n=10$ již bezvýznamné (proces nezpůsobilý). Zatím co C_{pm} je konstanta, odhad \hat{C}_{pm} je náhodná proměnná, a proto musí mít vše, co každá jiná náhodná proměnná, tedy určitý zákon rozdělení pravděpodobnosti, střední hodnotu, rozptyl, koeficient asymetrie a špičatosti. To jsou závažné skutečnosti, které umožní ocenit kvalitu jednotlivých typů indexů, porovnávat je, testovat jejich významnost, sestavit jejich regulační diagram apod.

K testování indexu C_{pm} je v (13) uveden test C_{pm} o názvu „Test Boyles (1991)“. Test vychází z předpokladu, že k tomu, aby teoretická hodnota indexu $C_{pm} \geq 1$ je potřeba aby pro odhad indexu \hat{C}_{pm} platilo:

$$\hat{C}_{pm} \geq \frac{1}{\sqrt{\frac{\chi_v^2(1-\alpha)}{\nu}}} = \Psi \quad (81)$$

Celý výraz na pravé straně rovnice (81) se nalezne v tabulce rozdělení χ_v^2 pro zvolené $100(1-\alpha)$: (90%,95%,99%) a pro tzv. stupně volnosti ν , které se vypočítají dle následujících vzorců:

$$\nu = \frac{n \cdot (1 + \omega^2)^2}{1 + 2\omega^2} \quad (82)$$

$$\omega = \frac{\bar{x} - T}{\hat{\sigma}} \quad (83)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (84)$$

V praxi je požadováno, aby $C_{pm} \geq k$, potom pro index \hat{C}_{pm} platí vztah:

$$\hat{C}_{pm} \geq \frac{1}{\sqrt{\frac{\chi_v^2(1-\alpha)}{\nu}}} * k \quad (85)$$

takže hodnotu, kterou nalezneme ve výše uvedené tabulce násobíme konstantou k .(13).

Např. je-li požadováno, aby index základního souboru dat měl hodnotu $C_{pm} = 1,33$, potom hodnota odhadu indexu z výběrového souboru \hat{C}_{pm} musí být

$$\hat{C}_{pm} = \Psi * 1,33 \quad (86)$$

kde hodnota Ψ je vypočtena na základě hodnot získaných z odpovídajícího výběrového souboru dat podle rovnice (81).

4 Ověřování způsobilosti stroje a procesu

Ověřováním způsobilosti stroje zjišťujeme, zda je strojní zařízení schopno produkovat výrobky, které odpovídají specifikovaným požadavkům. Podstata tohoto ověřování je v tom, že variabilitu procesu může způsobovat jediný výrobní činitel a tím je soustava strojního zařízení (stroj, nástroj, přípravek). Ostatní výrobní činitelé jsou při této zkoušce fixováni (nebo jejich vliv je omezen na minimum).

Ověřování způsobilosti stroje provádíme prostřednictvím zvoleného (kritického) parametru (variabilní nebo atributivní parametr), mající významný vliv na jakost výrobku, který může být dvojího charakteru:

- technologické parametry stroje,
- parametry na výrobku, který je vyráběn na ověřovaném stroji.

Způsobilost se prokazuje při pořízení nového stroje ještě před nasazením do výroby. Za určitých podmínek se ověřování způsobilosti stroje opakuje v souhlase se zákazníkem např. při:

- objednávce nových dílů
- použití nových nástrojů / zařízení
- opakovaně k odstranění systematických vlivů
- při zúžení tolerancí
- při změně výrobního postupu / výstupního stavu
- při přemístění stroje
- opravě stroje (s vlivem na výrobek)
- při přerušení výroby daného výrobku déle než 12 měsíců

4.1 Postup ověřování způsobilosti stroje

Postup ověřování způsobilosti stroje probíhá dle těchto kroků:

1. Provést odběr 50 po sobě jdoucích výrobků se stanoveným znakem nebo 50 po sobě jdoucích údajů technologického parametru (znaku) stroje. Ve výjimečných případech, kdy je sběr dat náročný je možno odebrat i menší množství výrobku (nejméně 20 výrobků).

2. Stanovení znak změřit a zaznamenat.
3. Provést analýzu statistické stability a normality dat
4. Každých 5 naměřených hodnot je považováno za jeden odběr. Pro nenormální rozdělení dat nebo při výskytu statistické nestability je nutno odstranit příčiny těchto negativních (systematických vlivů) jevů.
5. Výpočet střední hodnoty \bar{x} a směrodatné odchylky s .
6. U jednostranných tolerancí (např. výška max. 100 mm) je počítán pouze index C_{mk} .
7. Rozhodnutí o způsobilosti strojního zařízení.
8. Strojní zařízení je způsobilé, když $C_m, C_{mk} \geq 1,67$ nebo pokud zákazník nestanovil toto kritérium jinak (pro VW, Škoda platí $C_m, C_{mk} \geq 2,00$).
9. Stanovení opatření k nápravě u nezpůsobilého strojního zařízení.

4.2 Zabezpečení způsobilosti procesu

Způsobilost procesu se používá pro hodnocení účinnosti procesu prostřednictvím variabilních znaků vůči specifikovaným požadavkům (tolerančním mezím). Způsobilost procesu se dělí na:

- předběžnou způsobilost procesu
- trvalou způsobilost procesu

4.2.1 Zabezpečení předběžné způsobilosti procesu

Zkoumání předběžné způsobilosti procesu jsou krátkodobá zkoumání umožňující včasné získání informací o způsobilosti nového nebo modifikovaného procesu. Hodnotí se vývoj procesu z hlediska mezí určených tolerancemi.

U speciálních znaků (u nových nebo změněných výrobků) se musí provádět zkoumání předběžné způsobilosti procesu při náběhu zkušební dávky (před uvolněním výrobku do sériové výroby). Toto nevyklučuje provádět zkoumání předběžné způsobilosti i u dalších znaků a u již probíhající výroby.

4.2.2 Zabezpečení trvalé způsobilost procesu

Zkoumání trvalé způsobilosti procesu je dlouhodobé šetření, které hodnotí způsobilost procesu z hlediska mezí určených tolerancemi. Zkoumání způsobilosti procesu se co do postupu neliší od zkoumání předběžné způsobilosti procesu. Na rozdíl od zkoumání předběžné způsobilosti procesu se hodnoty shromažďují po delší dobu, aby byly podchyceny pokud možno všechny veličiny ovlivňující kolísání procesu. Časové období pro zkoumání by nemělo být kratší než 20 výrobních dnů a mělo by být voleno tak, aby se projevíly všechny ovlivňující veličiny.

Výsledkem zkoumání způsobilosti procesu jsou indexy způsobilosti c_p a c_{pk} , u jednostranných tolerancí pouze index způsobilosti c_{pk} .

4.2.3 Analýza statistické stability a normality dat

Analýza statistické stability - probíhá rozbořem regulačního diagramu na výskyt statistické nestability (tj. výskyt systematických vlivů). V regulačním diagramu se sleduje, zda u grafu rozpětí a středních hodnot nedošlo k některé z následujících situací:

- body v grafu jsou mimo regulační meze,
- 7 bodů za sebou se nachází nad nebo pod střední hodnotou daného grafu,
- 7 bodů za sebou má stoupající nebo klesající charakter,
- více než 2/3 bodů leží blízko střední hodnoty (pro 25 podskupin se více než 90% bodů nachází uvnitř prostřední třetiny regulačních mezí),
- méně než 1/3 bodů leží blízko střední hodnoty (pro 25 podskupin se méně než 40% bodů nachází uvnitř prostřední třetiny regulačních mezí).

V případě, že některá z uvedených situací nastane, pak na proces působí systematické vlivy, které je třeba eliminovat. V opačném případě je proces statisticky stabilní (na proces působí pouze náhodné vlivy) a je možno pokračovat v dalších výpočtech.

Analýza normality dat - provádí se za pomoci software a to grafickou metodou nebo výpočtovou metodou. V případě, že se nepotvrdí normalita dat (na proces mohou působit systematické vlivy nebo má proces jiné rozdělení dat) nelze považovat případné výsledky způsobilosti procesu za věrohodné (jsou pouze orientační). V opačném případě jsou další výpočty věrohodné.

4.2.4 Regulace procesu

Regulace procesu se provádí prostřednictvím regulačního diagramu, v kterém je potřeba vyznačit regulační meze a centrální přímkou. Pro aplikaci SPC pomocí regulačního diagramu je potřeba nejprve určit:

- typ regulačního diagramu,
- rozsah výběrového souboru n (velikost podskupiny) - nejčastěji je $n=5$ pro měřitelné (variabilní) parametry a minimálně je $n=50$ pro atributivní parametry,
- frekvenci prováděných výběrů,
- regulační meze

Tyto údaje se definují do hlavičky regulační karty. Samotná regulace procesu spočívá v těchto krocích:

- odběr výběrového souboru definovaného rozsahu (např. 5 výrobků),
- zjištění hodnot regulovaného znaku u každé jednotky výběrového souboru (např. proměření každého výrobku),
- záznam zjištěných hodnot do regulační karty,
- zjištění (výpočet) regulovaných statistik (např. průměr a rozpětí),
- vynesení zjištěných (vypočtených) regulovaných statistik do grafu v regulační kartě,
- provedení analýzy statistické stability regulačního diagramu,
- na základě analýzy regulačního diagramu provedení zásahu do procesu nebo pokračování ve výrobě se záznamem do regulační karty,

4.3 Práce s regulačními diagramy

Vlastním nástrojem statistické regulace je regulační diagram, nazývaný též regulační karta (příloha č. 4). Je to grafický prostředek znázornění a porovnání informací založených na posloupnosti výběrů dat v čase. Pracuje s údaji, které se získávají z procesu v přibližně pravidelných intervalech. Prvky každé náhodně vybrané podskupiny jsou stejné a se stejným měřitelným znakem a mají stejný rozsah. V každé podskupině se vyhodnocují stejné výběrové charakteristiky, jako je výběrový průměr, rozpětí či směrodatná odchylka. V regulačním diagramu se zobrazují tyto charakteristiky jako pořadová čísla podskupin v závislosti na čase. Do diagramu se zakresluje tzv. centrální přímka MSL, která zobrazuje průměrnou hodnotu uvažovaných údajů a dvě statisticky stanovené meze:

- horní regulační mez USL
- dolní regulační mez LSL

jejíž překročení vyžaduje analýzu příčin a možností zásahu k jejich odstranění. Tyto meze jsou ve vzdálenosti násobku směrodatné odchylky σ . Při volbě 3σ platí, že uvnitř takto stanoveného pásma bude cca 99,7 % hodnot, tj. cca ve třech případech z tisíce bude zakreslený bod ležet mimo toto pásmo. Při volbě 2σ se získávají tzv. varovné meze, takže každá hodnota padne-li mimo toto pásmo je varováním, že proces bude statisticky neovladatelný.

Tvorba regulačních karet, sledování jakosti výrobního procesu spočívá v těchto etapách.

4.3.1 Vyplnění záhlaví karty

Z hlediska potřeby sledování výrobního procesu, spočívá v zadání hraničních tolerancí USL, LSL, minimální hodnotu koeficientu způsobilosti c_p a c_{pk} ($=1,670$) a jmenovitý rozměr.

4.3.2 Instalace dat do tabulky „Naměřené hodnoty“

Provádíme tak, že naměřená data instalujeme do jednotlivých sloupců tabulky kterých pro jedno hodnocení deset z nichž každý sloupec obsahuje 5 naměřených hodnot. Tím se vytváří podskupiny obsahující pět hodnot.

4.3.3 Výpočet parametrů \bar{x}_a , s a R

Tyto výpočty se provedou pro jednotlivé jak sloupce (podskupiny), tak i pro všechny hodnoty souboru dat v tabulce „Naměřené hodnoty“ a to automaticky pomocí instrukcí programu EXCEL, instalovaných v jednotlivých buňkách.

4.3.4 Provedeme výpočet hodnot ve sloupci „Hodnoty intervalů“

Je předem zvoleno, že Gausova křivka bude sestavena z 30 hodnot. Takže rozpětí hodnot USL-LSL rozdělíme na 30 dílů a tyto očíslováme postupně ve sloupci „Číslo intervalu“. Takže v daném sloupci tabulky je počet intervalů 30 a na každou stranu je přidáno ještě intervalů 5. Takže číslování intervalů ve sloupci „Číslo intervalu“ je od -5 přes 0 do 35. Nultý interval je označen jako $0 = T_D$ (LSL), a 30-tý, je označen jako $30 = T_H$ (USL), a hodnoty do 35 intervalu jsou přidány pro výpočet hodnoty 30, není-li zadáno USL (jak dále uvedeno). Sloupec označující „Číslo intervalů“ je označen jako proměnná z . Potom pro jednotlivé intervaly vypočteme jejich hodnoty následovně. V každé buňce sloupce „Hodnoty intervalu“ se testuje, zda v buňce USL je hodnota zadaná. Není-li, pak provedeme výpočet hodnoty i pro interval z následovně:

$$i = LSL + z * \frac{x_a - LSL}{15} \quad (87)$$

kde: z pořadové číslo intervalu

\bar{x}_a aritmetický průměr všech dat

i hodnota v daném intervalu z

tedy vypočteme hodnotu pro jeden interval z rozdílu střední hodnoty \bar{x}_a a LSL. Hodnota v jednotlivých řádcích z je pak dána vztahem (87). Je-li hodnota USL zadána, pak provedeme následující výpočet dle vztahu:

$$i = LSL + z^* \frac{USL - LSL}{30} \quad (88)$$

kde: 30počet zvolených intervalů

Tento výpočet provedeme pro všechny řádky ve sloupci „Hodnoty intervalů“. Výjimku tvoří buňka $z = 0$ označená jako T_D , jejíž hodnota je dána hodnotou zadanou v buňce LSL a buňka $z = 30$ označená jako T_H , jejíž hodnota je dána hodnotou buňky USL. Není-li tato zadána, pak hodnota pro třicátou buňku je dána vztahem

$$z_{30} = \frac{z_{29} + z_{31}}{2} \quad (89)$$

kde: z_{31} byla vypočtena z rovnice (87)

4.3.5 Provedeme výpočet Gausovy křivky

V těchto regulačních kartách je proveden výpočet a zobrazen grafický průběh Gaussovy křivky jež slouží k určení druhé podmínky „Vyhodnocení“, v níž je dotaz, zda průběh naměřených dat odpovídá průběhu Gaussovy křivky. („Data odpovídají průběhu Gaussovy křivky?“). Průběh Gaussovy křivky je jak skutečný, který je zobrazen z vypočtených tabulkových hodnot jako je aritmetický průměr \bar{x}_a a směrodatná odchylka s . tak ideální, který hodnotu \bar{x}_a vypočte ze zadané tolerance T_H a T_D a hodnotu směrodatné odchylky s vypočte ze zadaného tolerančního rozsahu a zadané hodnoty způsobilosti stroje c_{mk} . Ideální Gaussova křivka slouží k vizuálnímu srovnání jakosti naměřených dat s jakostí požadovanou pro danou hodnotu indexu způsobilosti stroje c_{mk} .

Rovnice pro skutečný průběh Gausovy křivky.

$$f(x) = \frac{1}{s * \sqrt{2 * \pi}} * e^{-\frac{(x-x_a)^2}{2*s^2}} \quad (90)$$

kde: x_a aritmetický průměr všech dat

s směrodatná odchylka

x hodnota ve sloupci „Hodnota intervalu “ odpovídající pořadí „Z“

Rovnice pro ideální průběh Gausovy křivky.

$$f(x) = \frac{1}{h * \sqrt{2 * \pi}} * e^{-\frac{(x-l)^2}{2*h^2}} \quad (91)$$

kde: x_a nahrazen vypočteným středem tolerančního rozsahu vztahem

$$x_a \cong l = \frac{T_D + T_H}{2} \quad (92)$$

Směrodatná odchylka s je nahrazena symbolem h , který vychází z rovnice:

není-li zadána hodnota USL takto:

$$s \cong h = \frac{\frac{x_a - LSL}{3}}{c_{mk} (=1,67)} = \frac{x_a - LSL}{3 * c_{mk}} \quad (93)$$

je-li zadána hodnota USL pak vztahem

$$h = \frac{\frac{USL - LSL}{6}}{c_{mk} (=1,67)} = \frac{\frac{T}{6}}{c_{mk}} = \frac{T}{6 * c_{mk}} \quad (94)$$

Dále je realizován histogram, který představuje grafické znázornění intervalového rozdělení četnosti dat v jednotlivých intervalech. Výpočet proveden instrukcí programu EXEL „ČETNOST“, pro níž určíme oblast do které budeme instalovat vybrané hodnoty četnosti (sloupec „Četnost“) a oblast, ze které budeme data vyhodnocovat (sloupec „Hodnoty intervalů“).

Pro grafické zobrazení středu Gaussovy křivky postupujeme následovně. Střed Gausse vypočítaného z naměřených hodnot vypočteme tak, že do pomocné buňky PBSG instalujeme maximální hodnotu ze sloupce „Skut. Gauss“ instrukcí MAX (celý sloupec „Skut. Gauss“). Poté do jednotlivých buněk sloupce x_a instalujeme podmínku rovnosti dat ze sloupce „Skut. Gauss“ a buňky PBSG. Je-li splněna, potom v této buňce je instalován obsah buňky PBSG.

Pro grafické zobrazení USL a LSL v grafu Gaussovy křivky jsou ve sloupcích USL a LSL instalovány následující instrukce souboru EXCEL takto: v každé buňce sloupce USL (LSL) je instalována podmínka rovnosti obsahu buňky USL (LSL) (-zadané toleranční hranice) s hodnotou buňky která je ve stejném řádku, ale ve sloupci „Hodnota intervalů“. Je-li podmínka splněna, potom do dané buňky sloupce USL (LSL) je instalován obsah buňky PBSG, není-li podmínka splněna, buňka zůstává prázdná.

4.3.6 Provedeme hodnocení statistické stability stroje

Pro konstrukci regulačních diagramů se předpokládá, že sledovaný znak jakosti má normální rozdělení. Odchyly od tohoto předpokladu ovlivňují účinnost diagramů. Proto za uvedeného předpokladu byly použity tabulky součinitelů pro výpočet příslušných regulačních mezí, jejíž jednotlivé hodnoty jsou závislé na rozsahu výběru. Tyto meze se vypočítávají pro objasnění, o jakou hodnotu by se střední hodnoty a rozpětí rozptylovaly, kdyby existoval pouze náhodný rozptyl. Hodnoty konstant A_3 , D_4 jsou závislé na počtu odebraných vzorků namátkové kontroly.

Podstata hodnocení statistické stability stroje a procesu spočívá jednak ve výpočtu nových regulačních mezí USL_x , LSL_x a středu SL_x pro daný výběrový aritmetický průměr a výběrové rozpětí R v závislosti na počtu volnosti, neboli odebraných vzorků. Tyto hodnoty jsou v tabulce „Součinitele pro regulační meze“. (příloha 3)

V jednotlivých sloupcích tabulky „Naměřené hodnoty“ provedeme výpočet jak aritmetického průměru ze sloupcové podskupiny dat x_{a1}, \dots, x_{a10} , tak i výběrového rozpětí $R_1 \dots R_{10}$.

Potom výpočet regulačních mezí a středu pro výběrový průměr \bar{x}_a za účelem hodnocení statistické stability stroje a procesu provedeme podle následujících vztahů:

$$\begin{aligned}
MSL_x &= \bar{x}_a = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_a}{10} \\
USL_x &= \bar{x}_a + A_2 * \bar{R} \\
LSL_x &= \bar{x}_a - A_2 * \bar{R}
\end{aligned}
\tag{95}$$

kde index A_2 má dle tabulky „Součinitele pro regulační meze“ pro hodnotu $n = 5$ hodnotu $A_2 = 0,577$ (příloha č.3).

Regulační meze a střed pro výběrové rozpětí R vypočteme

$$\begin{aligned}
MSL_r &= \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{10} R}{10} \\
USL_r &= D_4 * MSL_r \\
LSL_r &= 0
\end{aligned}
\tag{96}$$

kde index D_4 má dle tabulky „Součinitele pro regulační meze“ pro hodnotu $n = 5$ hodnotu $D_4 = 2,114$.

Nyní testujeme data z tabulky „Pomocná tabulka“ z jednotlivých sloupcových podskupin dat $x_{a1}.....x_{a10}$, s nově vypočteným aritmetickým průměrem (MSL_x) a s hodnotami USL_x a LSL_x v jednotlivých sloupcích tabulky naměřených hodnot a vytváříme novou tabulku, která sestává z rozdílu hodnot jednotlivých podskupin $x_{a1}.....x_{a10}$, a hodnot USL_x a LSL_x . Potom ve sloupci St testujeme, zda hodnoty v daném řádku mají kladnou hodnotu a platí:

- Jsou-li rozdíly $USL_x - x_{a1-10} > 0$ potom tuto sérii výsledků označíme ve sloupci St 0, jinak 1
- Jsou-li rozdíly $x_{a1-10} - LSL_x > 0$ potom tuto sérii výsledků označíme ve sloupci St 0, jinak 1
- Jsou-li rozdíly $USL_{r1-10} - R_{1-10} > 0$ potom tuto sérii výsledků označíme ve sloupci St 0, jinak 1

Závěr hodnocení testu statické stability:

Jsou-li výsledky všech těchto výpočtů ve sloupci St rovny 0, potom řekneme, že proces je statisticky stabilní, jinak statisticky stabilní není.

4.3.7 Výpočet koeficientu způsobilosti stroje c_m a c_{mk}

Hodnoty koeficientu schopnosti stroje c_m a c_{mk} jsou dány následujícími vztahy:

$$\begin{aligned}c_m &= \frac{USL - LSL}{6s} \\c_{mk_{USL}} &= \frac{USL - \bar{x}_a}{3s} \\c_{mk_{LSL}} &= \frac{\bar{x}_a - LSL}{3s}\end{aligned}\tag{97}$$

Potom výsledné c_{mk} je rovno menší hodnotě vypočtených $c_{mk_{USL}}$ a $c_{mk_{LSL}}$. Tato hodnota je porovnávána s požadovanou minimální hodnotou c_{mk} , která je zadána v záhlaví této karty. Potom stroj je způsobilý, je-li c_{mk} větší nebo rovno c_{mk} zadanému v záhlaví karty ($c_{mk} > 1.67$). Jinak je stroj nezpůsobilý a je nutno činit nápravu.

4.3.8 Závěrečné vyhodnocení

Výsledné hodnocení stroje je podmíněno splněním současně třech podmínek:

- Statisticky stabilní
- Data odpovídají Gausovu rozdělení?
- Stroj je způsobilý?

ad1. Závěry testu statistické stability: Jsou-li výsledky všech těchto výpočtů ve sloupci St rovny 0, potom řekneme, že proces je statisticky stabilní, jinak statisticky stabilní není.

ad2. Dle vypočteného a graficky zobrazeného tvaru křivky Gausova rozdělení určíme zda data tomuto rozdělení odpovídají (pak mají normální rozdělení dat).

ad3. Stroj je způsobilý když splňuje následující podmínky:

musí být statisticky stabilní, (ad1)

data musí odpovídat Gausovu rozdělení, (ad2)

vypočtená c_m a c_{mk} musí být větší než hodnota c_m a c_{mk} zadaná v záhlaví této karty (převážně c_m a $c_{mk} = 1,67$). (ad3)

Výsledky tohoto hodnocení jsou instalovány v tabulce „Vyhodnocení“ kde potvrzení platnosti odpovědi je dáno písmenem X.

4.4 Návrh řešení problému

SPC je vysoce účinný způsob pro operativní řízení procesů a zkoumání schopností strojů. Má velmi dobře propracovaný systém zpracování získaných dat z výrobního procesu a metodiku hodnocení jejich výsledků. Veškerá jeho činnost je však závislá na zápisu dat získaných měřeními, které provádí pracovník, obsluhující daný stroj. Někdy se stává, že pracovník obsluhující stroj, z jistých důvodů nezaznamená hodnoty do regulačních karet, které naměří, neboť zjistí, že jsou mimo toleranci a zapisuje hodnoty do karet dle vlastní úvahy tak, aby nebyl obviněn z nedbalosti. Takto instalovaná data potom zkreslí výsledek celého vyhodnocovacího systému jakosti.

Na základě výše uvedeného jsem se rozhodl nerealizovat zlepšení jakosti metodou zvyšování zodpovědnosti pracovníka obsluhujícího stroj a provádějící vlastní měření vyrobené součástky včetně záznamu dat do regulačních karet, ale z celého procesu měření, záznamu dat a vyhodnocení vyloučit vliv lidského faktoru. Chci navrhnout, aby po vložení součástky do měřicího přípravku proběhl celý měřicí a vyhodnocovací proces bez zásahu a to jak pracovníka obsluhující stroj, tak pracovníka provádějící vyhodnocování naměřených hodnot.

4.4.1 Blokové schéma

Blokové schéma (příloha č. 5) vychází z požadavku na změření, vyhodnocení, archivace a grafického zobrazení naměřených dat. Vstupní část schéma tvoří měřicí přípravek, který slouží jednak k vlastnímu uložení měřené součástky, v našem případě soudeček, změření jeho velikosti, úpravu naměřených hodnot do tvaru, který prostřednictvím sériového modulu přenese data na vstup počítače. Těchto měřicích míst může být pro jeden počítač více, neboť je možno pomocí multiplexeru umístěného před vstupní port počítače snímat naměřená data postupně z více pracovišť. Signalizační zařízení slouží pro potřebu včas informovat obsluhu, blíží-li se naměřená data k hraniční oblasti tolerance.

Měřicí přípravek

Činnost zařízení spočívá v uložení výrobku do měřicího přípravku. Jeho součástí je i inkrementální čidlo, pomocí něhož je změřen požadovaný znak jakosti. Vlastní přípravek je řízen jednočipovým mikropočítačem, který zajistí svým vnitřně instalovaným programem jednak správný odečet velikosti sledovaného znaku, tzn. po uložení součástky do přípravku je požadovaná jistá prodleva pro celkové mechanické zklidnění, poté odečet hodnoty inkrementálního čidla a programem mikropočítače přes sériový modul dopraven přes případný multiplexer na vstupní port počítače.

Konstrukce přípravku je taková (je vycházeno ze stávající konstrukce měřicího přípravku s mechanickým měřidlem), že je změřena pouze odchylka od jmenovité hodnoty sledovaného znaku.

Multiplexer

V případě napojení více měřících přípravků na jeden počítač, se používá multiplexer, který postupně připojuje na vstupní port počítače jednotlivé výstupy měřících přípravků. Jeho činnost je řízena přes port vnitřním programem počítače.

Signální zařízení

Složí k tomu, aby včas informovalo obsluhu, že se blíží-li naměřená data k hraniční oblasti tolerance, jednak k signalizaci v případě poruchy na nějakém členu kompletního zařízení.

4.4.2 Návrh činnosti programů

Návrh programu mikropočítače

Z hlediska návrhu programu pro mikropočítač (příloha č. 6) instalovaný jako jednočipový je v měřícím přípravku kromě inkrementálního čidla s obousměrným čítačem impulsů také snímač přítomnosti součástky v přípravku. Program mikropočítače měřicího přípravku:

1. inicializace
2. počítač čeká na vložení součástky
3. časová prodleva za účelem uklidnění celého systému

4. počítač se přesvědčuje zda je součástka stále vložena v přípravku
5. je-li pak odečte do svého vnitřního registru obsah výstupu z oboustranného čítače
6. testuje provedení požadovaného počtu měření
7. uloží data do paměti k přenosu a vyšle žádost k předání dat do počítače
8. testuje odebrání součástky z přípravku
9. testuje odebrání součástky z přípravku

Po žádosti o přerušení od hlavního počítače aktivuje data z paměti k přenosu.

Návrh programu hlavního počítače

Program (příloha č. 7) realizuje načtení uvedeného počtu naměřených dat z periferie, jejich uložení na předem zvolené místo v hlavní paměti a výpočet jednotlivých parametrů potřebných k posouzení způsobilosti stroje a způsobilosti technologického procesu. Program hlavního počítače:

1. inicializace
2. testuje žádosti periférií o předání dat
3. adresuje multiplexer
4. přečte data z periferie a uloží je na předem definované místo v paměti
5. zaktivuje data z vymezeného prostoru paměti a provede výpočet:
 - výběrového aritmetického průměru všech dat
 - výběrové směrodatné odchylky všech dat
 - výběrového aritmetického průměru jednotlivých podskupin x_{a1-a10}
 - výběrové rozpětí jednotlivých podskupin R_{1-10}
 - indexu c_m
 - indexu c_{mk}
 - nové tolerance, úměrné velikosti počtu naměřených dat USL_x LSL_x
 - vypočte tabulku hodnot gaussovy křivky
 - rozčlení data pro realizaci histogramu
6. provede testy:
 - $(USL_x$ $LSL_x)$ s hodnotami (x_{a1-a10})
 - USL_x s hodnotami R_{1-10}

- c_m a c_{mk} s požadovanou hodnotou $c_{mk} \Rightarrow 1.67$
 - statistické stability stroje případně procesu
 - odpovídajcnost naměřených dat gaussovu rozdělení
 - způsobilost stroje
 - v případě nezpůsobilosti stroje, případně procesu informuje obsluhu vnější signalizací a na monitoru zobrazí neodpovídající parametr
7. provede z naměřených dat, zadaných a vypočtených tolerancí grafy a to průběh hodnot výběrového aritmetického průměru jednotlivých podskupin v závislosti na nově vypočtených tolerancí a průběh hodnot výběrového rozpětí jednotlivých podskupin opět na nově vypočtené tolerance USL_x . Graficky zobrazí gaussovu křivku zobrazenou jak z naměřených dat, tak i ze zadání, tzv. ideální gaussovu křivku.
 8. provede kompletaci regulační karty
 9. provede archivaci regulační karty.

Závěr

Tento návrh programu je více méně schématický, neboť jeho konkrétní řešení předpokládá jak obecné znalosti programování, detailní znalosti použitého hardwaru tak i specifika použitého programovacího jazyku, což není náplní této diplomové práce. Je proto nutné realizaci tohoto programu zajistit u specializované firmy, zabývající se aplikacemi tzv. technologických počítačů.

5 Závěr

V této práci jsem se zabýval základní analýzou stavu systému jakosti ve výrobě, v předvýrobní a výrobní etapě. Střed mého zájmu byl soustředěn především na metody managementu jakosti. Na základě analýzy stávajícího systému jakosti byla vybrána metoda statistické regulace výrobního procesu, SPC, pro řešení problému zmetkovitosti ve firmě.

Dále byl vypracován návrh regulační karty stroje a procesu na základě poznatků z matematické statistiky. Tento návrh byl zpracován v programu Microsoft Excel 2000 z důvodu univerzálnosti použití u všech pracovníků firmy, kteří mají zájem tento program při své pracovní činnosti využívat.

Zpracovaný program v MS Excel 2000 pro vyhodnocování získává data přepisováním hodnot, které byly ručně zaznamenány obsluhou u příslušného stroje vykonávajícího danou operaci. Při tomto způsobu záznamu, přepisování dat, je vždy možné vnést chybu, která může vzniknout špatným odečtením hodnoty z měřícího přístroje, při přepisování hodnot do programu. Je proto vhodné omezit tyto chyby na nejmenší možnou míru zaváděním měřících a vyhodnocovacích systémů, které tyto činnosti výrazně zautomatizují.

Aplikací, vyhodnocování a uplatňování výsledků statistické regulace procesu, SPC, ve výrobě ukazuje, že tato metoda výrazným způsobem přispěje ke snížení zmetkovitosti ve výrobním procesu. Na základě těchto výsledků je možné provést opatření zaměřená na snížení spotřeby brusiva nastavením stroje na spodní toleranci a tím dosáhnout úspory na brusivu.

Je ale také nutné, aby tato metoda byla důkladně pochopena příslušnými pracovníky a aby v ní viděli budoucí přínos. Pokud ji budou vnímat jen jako nutné zlo, nebude výsledek z aplikace této metody tak hodnotný, jak by mohl být. Na nutnost pochopení závažnosti u pracovníků se nelze spolehnout, takže jsem se rozhodl, jak v předcházející kapitole uvedeno, z procesu záznamu a hodnocení systému jakosti vyloučit lidský faktor. Navržené řešení splňuje uvedené požadavky, neboť se prakticky jedná o aplikaci počítače pro řízení technologického procesu ve spolupráci s periferním zařízením. Je dosti firem na našem trhu, které se konkrétními aplikacemi zabývají.

Použitá literatura

1. BARTES, F. *Jakost zboží v obchodním podnikání*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2004. 120 s. ISBN 80-214-2565-2.
2. NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody v řízení jakosti*. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita, 1997. 99 s.
3. NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody v řízení jakosti*. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita, 1996. 99 s. ISBN 80-7078-318-4.
4. KÁŠOVÁ, V. *Statistická regulace v řízení jakosti*. 1. vyd. Brno: VUT, 2000. 28 s. ISBN 80-214-1603-3.
5. KAŇOKOVÁ, J. *Teorie statistiky pro řízení a plánování*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 400 s.
6. TOŠENOVSKÝ, J. *Statistické metody pro zvyšování jakosti*, 1. vyd. Ostrava: MONTANEX, 362 s. ISBN 80-7225-040-X
7. MYKISKA, A. *Statistická regulace procesů (SPC) s počítačovou podporou*, 1. vyd. Praha: ČVUT, 1995. 68 s.
8. NENADÁL, J. *Moderní systémy řízení jakosti*, 1. vyd. Praha: Management Press, 1998, 280 s.
9. KROPÁČ, J. *Aplikovaná statistika*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2004, 139 s.
10. TOŠENOVSKÝ, J. *Statistické metody pro zvyšování jakosti*, 2. vyd. Ostrava: MONTANEX, 2000. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.
11. CYHELSKÝ, L. *Statistika I*, Praha: SNTL, 1967. 288 s.
12. CYHELSKÝ, L. *Statistika v příkladech*, Praha: SNTL, 1967. 228 s.
13. TOŠENOVSKÝ, J. *Hodnocení způsobilosti výroby od A do Z*, Ostrava: Dům techniky, 1967. 94 s.
14. VEBER, J. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*, Praha: Grada Publishing 2002. 164 s.
15. NENADÁL, J. *Moderní systémy řízení jakosti*, 2. vyd. Praha: Management Press, 2000, 282 s.
16. KUPKA, K. *Statistické řízení jakosti*, Pardubice: TriloByte Statistical Software, 1997.

17. UCHYTIL, J. *Regulace jakosti výrobků při kontrole měřením*, Praha: Průmyslové nakladatelství, 1950.
18. FIALA, A. *Statistické řízení procesů*. Brno: Inženýrské centrum, 1995/96. 78s.

Směrnice

19. BRA 02 01 00. *Řízení projektů*. 1. vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 22 s.
20. BRA 06 00 02. *Schvalování prvních vzorků*. 1. vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 16 s.
21. BRA 09 00 01. *Uvolnění k sériové výrobě*. 1. vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 22 s.
22. BRA 05 01 00. *Řízení technické dokumentace*. 1. vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 24 s.
23. BRA 17 01 03. *Audit výrobků*. 1. vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 10 s.
24. BRA 10 01 00. *Kontrola a zkoušení*. 2 vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2006. 28 s.
25. BRA 13 01 00. *Řízení neshodného produktu*. 1 vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 16 s.
26. BRA 14 00 01. *Nápravná a preventivní opatření*. 1. vyd. Brno : ZKL Brno, a.s. 2005. 18 s.

Seznam použitých zkratk a symbolů

1. kus	ověřený první kus nové série. Je uložen u stroje a s posledním kusem ucelené série se vrací do výroby.
Etalon	pojmem je míněn nulový kus k uchování nebo nastavení měřené jednotky, aby mohla být operativně přenesena.
Izolátor neshod	uzamykatelný nebo jinak zajištěný prostor pro umístění neshodných dílů, polotovarů a produktů určených ke šrotaci. Zamezuje možnost jejich nesprávného použití.
Konečná kontrola	pojmem je míněna pooperační kontrola hotových opracovaných ložiskových součástí před kompletací.
Konstrukční dokumentace	soubor grafických dokumentů, které určují nutné údaje k vyrobění, kontrole, přebírání a dodávání výrobku.
Kontrola měřidel	zabezpečuje kontrolní činnost na používaných měřidlech.
Kontrolní dokumentace	soubor dokumentů, které zajišťují proces vstupní a výstupní kontroly, kontroly 1.kusu a mezioperační kontroly.
Kontrolní měrové středisko	zabezpečuje veškerou metrologickou činnost v ZKL Brno, a.s.
Kontrolní návodka	postup stanovující způsob kontroly na výrobku, předmět kontroly, četnost kontroly (dle středisek).

Kontrolní návodka

1. kusu postup stanovující způsob kontroly před započítáním výroby na dané operaci (po výměně nebo opravě nástroje). Je součástí technologického postupu

List seřízení stroje

obsluhou činnost obsluhy při výrobě v předepsaných parametrech, pracovní předpis pro stroj.

List

seřizovače návod, pro nastavení parametrů stroje k danému výrobku a operaci, pracovní předpis pro stroj.

Mezioperační

kontrola pojmem je míněna veškerá kontrola ložiskových součástí od uvolnění vstupního materiálu po hotově opracované ložiskové součásti.

Mezioperační kontrolní

návodka dokument stanovující způsob kontroly v průběhu výroby na dané operaci. Je součástí technologického postupu

Milníky

představují významné události a kontrolní místa v průběhu projektu. Jsou současně měřítkem celkového pokroku projektu.

Návodka

dokument, obsahující potřebné údaje pro provedení činnosti eventuálně s rozměrovým náčrtem.

Neshoda

nesplnění specifikovaných požadavků.

Neshodný produkt

obecné označení pro produkt, jehož některý znak neodpovídá požadované specifikaci, např. (nedodržení výkresových rozměrů, materiálových vlastností, kvality povrchové úpravy, technologických parametrů při výrobě, požadavků na schopnost procesu).

Operace	část technologického postupu, zahrnující část údajů o způsobu výroby výrobku, skupiny nebo dílu.
Operační návodka	popis sledu pracovních činností pro stanovenou operaci se soupisem požadavků pro realizaci operace.
Problém jakosti	závažná neshoda nebo možná závažná neshoda, která je řešena pomocí „problémového listu“
Problémový list	dokument dokladující průběh řešení vždy jednoho problému jakosti metodou 8 - KP.
Proces	je souborem vzájemně propojených zdrojů a činností, které přeměňují vstupy na výstupy. Procesy projektu zahrnují: <ul style="list-style-type: none"> • procesy řízení projektu • procesy vztahující se k produktu (zabývají se pouze produktem projektu – návrhem, výrobou a ověřováním produktu projektu, řeší je systém řízení jakosti v příručce řízení jakosti a v navazujících směrnících).
Produkt projektu	je výstupem projektu, definovaným podle záměru zadavatelem. Záměr projektu i znaky produktu projektu mohou být u některých projektů postupně definovány současně s postupem prací na projektu.

Projekt sestává z řady koordinovaných a řízených činností s daty zahájení a ukončení, prováděný pro dosažení cíle, který vyhovuje specifickým požadavkům, včetně omezení daných časem, náklady a zdroji. Každý projekt má svůj začátek a konec a je řízen od koncepčních a přípravných fází specifikace, návrhu a vývoje přes výrobu a užívání až k likvidaci.

Projektový tým řídí činnost firmy při realizaci projektu ve všech jeho fázích.

První vzorky vzorky správného provedení výrobku, vyrobené za sériových podmínek.

Předběžná způsobilost procesu krátkodobé zkoumání (méně než 30 výrobních dní, minimálně 100 naměřených výsledků z min. 25 podskupin) umožňující včasné získání informací o účinnosti (nového nebo modifikovaného) procesu.

Řešitelský tým skupina odborných pracovníků sestavená k vyřešení určitého problému jakosti. Složení týmu a úkoly k řešení jsou dány „problémovým listem“.

Seznam dokumentace dokument uvádějící seznam platné konstrukční, technologické a kontrolní dokumentace.

Seznam návodek dokument uvádějící seznam technologické a kontrolní dokumentace vztažené k výrobku.

Seznamový list seznam nářadí a měřidel potřebných pro výrobek.

Specifikace dokument předepisující požadavky, se kterými se musí produkt shodovat.

Technická dokumentace ve smyslu této směrnice je to soubor konstrukční , technologické a kontrolní dokumentace vztažené k zajištění realizace výrobku.

Technická kontrola pojmem je míněna mezioperační a konečná (pooperační) kontrola jednotlivých ložiskových součástí, včetně výstupních kontrol smontovaných ložisek, jak v sériové tak v kusové výrobě.

Technologická dokumentace soubor dokumentů, které popisují celý technologický postup výroby výrobku a určují podmínky pro výrobu.

Trvalá (průběžná) způsobilost

procesu dlouhodobé zkoumání (minimálně 20 výrobních dní, min. 25 podskupin, minimálně 100 naměřených výsledků) umožňující získání informací o účinnosti procesu za delší časové období.

Vstupní technická

kontrola zabezpečuje kontrolu výchozího ložiskového materiálu, včetně polotovarů.

Výrobní

dokumentace je ta část řízené technické dokumentace, která je předaná do výroby a poskytuje úplný přehled o procesu výroby výrobku.

Výstupní

kontrola pojmem je míněna závěrečná kontrola zkompletovaných ložisek před konzervací a balením.

8-KP	8-mi krokový plán - technika řešení problémů
A_3	konstanta závislá na velikosti hodnot ve výběru (viz příloha č. 3)
c_m	index potenciálu stroje
c_{mk}	index způsobilosti stroje
c_p	index potenciálu procesu při zkoumání trvalé způsobilosti procesu
c_{pk}	index způsobilosti procesu při zkoumání trvalé způsobilosti procesu
D_2	konstanta závislá na velikosti hodnot ve výběru (viz příloha č. 3)
D_4	konstanta závislá na velikosti hodnot ve výběru (viz příloha č. 3)
FMEA	Analýza druhů a vlivů vad (Failure Mode and Effect Analysis)
k	počet výběrových souborů (logických podskupin)
LSL	dolní toleranční mez
LSL_x	dolní toleranční mez v závislosti na počtu odběrů
m	celkový počet údajů získaných z výběrů o počtu „k“ a o velikosti „n“
MSL	střed mezí
MSL_x	střed mezí v závislosti na počtu odběrů
n	rozsah (počet hodnot) výběrového souboru (logické podskupiny)
\bar{R}	aritmetický průměr rozpětí výběrových souborů
R_j	rozpětí j-tého výběrového souboru
s	směrodatná odchylka výběrového souboru

SPC	Statistická regulace procesu (Statistical Process Control)
TK	technická kontrola
TPV	Technická příprava výroby
ÚŘJ	Úsek řízení jakosti
USL	horní toleranční mez
USL_x	horní toleranční mez v závislosti na počtu odběrů
x_i	jednotlivá naměřená hodnota (pro výpočet způsobilosti stroje)
\bar{x}_j	aritmetický průměr j-tého výběrového souboru
\bar{x}	aritmetický průměr výběrového souboru
$\bar{\bar{x}}$	aritmetický průměr průměrů výběrových souborů
x_{ji}	i-tá hodnota statistiky X j-tého výběrového souboru
$x_{ji \max}$	maximální hodnota statistiky X j-tého výběrového souboru
$x_{ji \min}$	minimální hodnota statistiky X j-tého výběrového souboru
σ	odhad směrodatné odchylky základního souboru

Seznam příloh

1. Distribuční funkce Pearsonova rozdělení
2. Distribuční funkce Studentova rozdělení
3. Součinitele pro regulační meze
4. Regulační karta
5. Blokové schéma
6. Programové schéma pro mikropočítač v měřícím přípravku
7. Programové schéma pro hlavní počítač